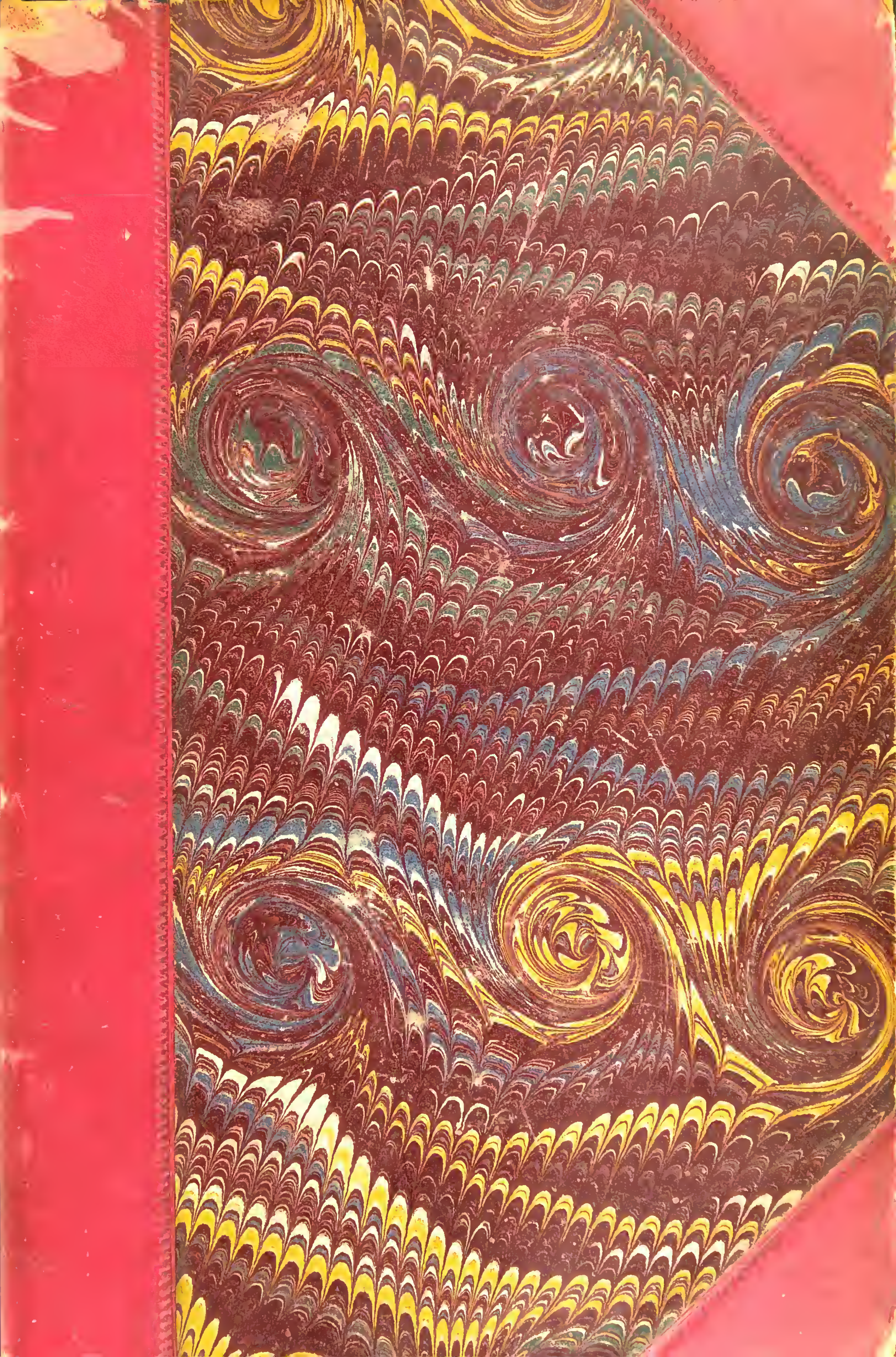


DAS

MIKROSKOP

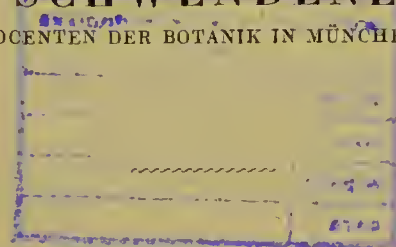
THEORIE UND ANWENDUNG DESSELBEN

VON

CARL NÄGELI,
PROF. IN MÜNCHEN

UND

S. SCHWENDENER,
DOCENTEN DER BOTANIK IN MÜNCHEN.





MIT 276 HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1867.

Inhaltsübersicht.

Erster Theil.

Erster Abschnitt: Theorie des Mikroskops.

Seite

I. Einleitung 1
Optische Wirkung des Mikroskops. Gesetze der Lichtbrechung in Linsen und Linsensystemen.

II. Analytische Bestimmung der Cardinalpuncte brechender Systeme, nach Gauss 9
Object- und Bildpunct. Hauptebenen und Brennebenen. Combination brechender Systeme.

III. Die Cardinalpuncte des Mikroskops 22
1. Das Objectiv.
2. Das Ocular. Das Campani'sche und das Ramsden'sche Ocular. Das aplanatische, orthoskopische und das bildumkehrende Ocular.
3. Die Mittel zur Theilung der Strahlenbündel. Multoculäre und stereoskopische Mikroskope.

IV. Die chromatische und die sphärische Aberration . . . 41
1. Die chromatische Aberration. Bedingungen der Achromasie.
2. Die sphärische Aberration. Folgen derselben im Objectiv und im Ocular.

V. Vom Einfluss der Deckgläschen 55

VI. Die Ebenung des Gesichtsfeldes 58
Wesen und Ursache der sogenannten Krümmung des Gesichtsfeldes. Beseitigung derselben durch aplanatische und gewöhnliche Oculare.

VII. Das Centriren der Linsensysteme 69
Wirkung einer fehlerhaften Centrirung. Ortsveränderungen des Bildes beim Drehen der Objectivlinsen.

VIII. Die Lichtstärke des Mikroskops 74

IX. Das optische Vermögen des Mikroskops 77
Kritik der gewöhnlichen Ansicht über die Bedeutung des Oeffnungswinkels und die Begriffe der definirenden und penetrirenden Kraft.

X. Von der Beleuchtung 85
1. Beleuchtung mit durchfallendem Licht. Wirkung des Spiegels und der Beleuchtungslinsen bei begrenzter und unbegrenzter Lichtquelle.
2. Beleuchtung mit auffallendem Licht.

Zweiter Abschnitt: Die mechanische Einrichtung des Mikroskops.

I. Allgemeine Regeln für die Construction der Stative . . 98
Die Einstellung. Der Objecttisch. Der Beleuchtungsapparat. Die Blendungen. Das Fussgestell. Länge und Stellung der Mikroskopröhre.

Seite

II. Die Stative der neueren Optiker 104
Hartnack, Nachet, Plössl, Schick, Bénèche, Zeiss, Belthle, Baader, Smith und Beck.

Dritter Abschnitt: Von der Prüfung des Mikroskops.

I. Prüfung des optischen Vermögens im Allgemeinen . . 119
Absolutes und relatives Unterscheidungsvermögen. Prüfungsmethoden. Organische Probeobjecte. Nobert's Probetäfelchen.

II. Prüfung der sphärischen Aberration 141

III. Prüfung der chromatischen Aberration 151

IV. Prüfung der Ebenung des Gesichtsfeldes 161

V. Prüfung der Centrirung 163

VI. Bestimmung des Oeffnungswinkels 165
Theoretische Grundlage. Prüfungsmethoden.

VII. Bestimmung der Vergrösserung und der Brennweite. . 170

VIII. Bestimmung der Cardinalpuncte 177

Vierter Abschnitt: Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung.

I. Kugelige und cylindrische Objecte 184
Luftblasen in Wasser. Oeltropfen in Wasser. Hohlkugel und Hohlcylinder.

II. Objecte von unregelmässiger Form 210
Membranen mit kleinen Vertiefungen oder Löchern. Membranen mit einer ebenen und einer wellenförmigen Grenzfläche. Membranen mit parallel-wellenförmigen Grenzflächen. Abwechselnd dichte und wasserreiche Schichten. Erhabenheiten und Vertiefungen im Gegensatz zu dichten und weichen Schichten. Das Sehen durch stereoskopische binoculäre Mikroskope.

III. Interferenzerscheinungen 218
Interferenz des directen Lichtes mit reflectirtem. Interferenz des gebrochenen Lichtes mit reflectirtem. Interferenz des gebrochenen und directen Lichtes. Reflexion des Lichtes an kleinen Kügelchen, Körnchen, feinen Fäden etc. und dadurch bedingte Interferenzerscheinungen. Interferenzlinien, welche die Entfernung einer wenig ausgedehnten Lichtquelle über die Objectdistanz hinaus hervorruft.

IV. Die schiefe Beleuchtung 228

V. Die Bewegungserscheinungen 233
Scheinbare und wirkliche Geschwindigkeit. Scheinbares Schlängeln schraubenförmiger Körper. Rechts- und Linksdrehung.

VI. Die Niveaudifferenzen 235

Fünfter Abschnitt: Das einfache Mikroskop und das Bildmikroskop.

I. Das einfache Mikroskop 237
Allgemeine Grundsätze. Die optische Einrichtung: Loupe, Doublets und Triplets. Die mechanische Einrichtung: Loupenträger und Stative der neueren Optiker.

II. Das Bildmikroskop 251
Kurze Notiz über die Einrichtung desselben.

Inhaltsübersicht.

Zweiter Theil.

Sechster Abschnitt: Mikroskopische Technik.

Seite

I. Der Gebrauch des Mikroskops 253
Die Beleuchtung. Die Wahl der Vergrösserung. Vom Gebrauch der Deckgläser. Die Behandlung des Instruments. Schonung des Sehvermögens. Der Arbeitstisch.

II. Herstellung und Behandlung der Präparate 260
Das Zergliedern der Objecte. Anfertigung von Durchschnitten. Entfernung der Luft. Quetschen der Präparate.

III. Aufbewahrung der mikroskopischen Präparate 266
Aufzählung der gebräuchlichen Medien: Luft, Canadabalsam, Glycerin etc. Herstellung eines hermetischen Verschlusses. Etikettirung, Einrichtung der Sammlung.

IV. Das Messen mikroskopischer Objecte 274
1. Das Glasmikrometer. Bestimmung des relativen Werthes der Mikrometertheilungen. Fassung und Einrichtung der Mikrometer. Genauigkeit der Messungen.
2. Das Schraubenmikrometer. Einrichtung desselben. Das Mohl'sche Ocularschraubenmikrometer. Bezeichnung der mikrometrischen Grössen. Tabelle zur Reduction der gebräuchlichen Maasseinheiten.
3. Bestimmung von Winkelgrössen. Das Goniometer. Fehlerquellen.

V. Das Zeichnen mikroskopischer Objecte 284
Apparate zur genauen Wiedergabe der Umrisse. Ausführung der Zeichnungen. Willkürlichkeiten bei der Darstellung mikroskopischer Objecte.

Siebenter Abschnitt: Die Polarisationserscheinungen.

I. Einrichtung des Polarisationsmikroskops 292
1. Der Polarisator. Das Nicol'sche Prisma. Das Foucault'sche Prisma. Turmaline und Herapathitkrystalle. Stellung des Polarisators zur Lichtquelle.
2. Der Analysator. Die verschiedenen Stellungen desselben.
3. Der Apparat zum Drehen der Objecte.

II. Das Verhalten anisotroper krystallähnlicher Körper, einzeln beobachtet 307
1. Das Elasticitätsellipsoid.
2. Die Polarisationserscheinungen in ihren Beziehungen zum Elasticitätsellipsoid. Die wirksame Elasticitätsellipse, Form- und Stellungsveränderungen derselben beim Drehen des Objects nach verschiedenen Seiten. — Elasticitätsverhältnisse der optisch einaxigen Medien.

Seite

3. Bestimmung der Elasticitätsaxen. Bestimmung der Axenrichtungen. Bestimmung der relativen Grösse der Axen. Anwendung der Gypsplättchen etc. Deutung der Interferenzfarben, Tabelle der Additions- und Subtractionsfarben für eine Reihe von Combinationen.

III. Das Verhalten zweier übereinander liegender Krystallähnlicher Körper, deren Schwingungsebenen sich schiefwinklig kreuzen 330
Charakter der Interferenzfarbe für verschiedene Werthe des Kreuzungswinkels. Combination der fest verbundenen, gekreuzten Krystallplatten mit einem Gypsplättchen: Additions- und Subtractionsfarben, Farben der orthogonalen Consecutiv- und Alternativstellung. Umkehrung des Problems: Bestimmung der Elasticitätsellipsen zweier sich kreuzender Platten durch Beobachtung der Polarisationsfarben.

IV. Das Verhalten cylindrischer und kugeliger Objecte mit concentrisch gruppirten anisotropen Elementen 338
1. Cylindrische Objecte. Wirkung der Querschnitte, der Längsschnitte und der Längsansichten. Zusammenstellung der Combinationen, welche mit Rücksicht auf die Interferenzfarben der zusammengehörigen Quer- und Längsansichten vorkommen können, und Folgerungen daraus. Einzelne besondere Fälle. Bestimmung der optischen Axen.
2. Kugelige und ovale Objecte. Objecte mit gleichwerthigen Durchmessern und solche mit einer Axe.

V. Ueber einige Eigenthümlichkeiten des Baues organisirter Substanzen 354
Die doppelbrechende Eigenschaft der Substanz ist durch die Natur der Molecüle, nicht durch deren Anordnung bedingt.

VI. Zusammenstellung ven Beispielen 357

VII. Ueber die Anwendung des Nörrenberg'schen »Polarisationsmikroskops« 361

Achter Abschnitt: Mikrophysik.

I. Flüssige Körper 364
1. Erkennung und Unterscheidung flüssiger Körper.
2. Die Capillaritätserscheinungen. Maassbestimmung. Capillarattraction in mikroskopisch feinen Röhrchen und in den Molecularinterstitien der Membranen. Zusammenwirken der Capillarität und der Verdunstung in feinen Capillarsystemen.
3. Spannung der Gase und Flüssigkeiten. Spannungsdifferenzen zwischen den Flüssigkeiten und den darin enthaltenen Luftbläschen in Folge der Capillaranziehung. Abnahme der Spannungen in Capillarsystemen von unten nach oben. Ausgleichung der Spannungen durch permeable Membranen. Geringe Grösse der in Geweben vorkommenden Spannungen. Spannung durch Endosmose. Formveränderung der Zellen in Folge der Zu- oder Abnahme der Spannungen.
4. Ungleiche Concentration der Lösung im Tropfen des Präparats.
5. Bewegungen in einer Flüssigkeit, welche durch ungleiches specifisches Gewicht verursacht werden.
6. Das Saftsteigen. Die Gesammtarbeit der Capillarität und der Endosmose reicht unter den gegebenen Verhältnissen nur

Seite

bis zu einer Höhe von einigen Metern. Sitz der übrigen motorischen Kräfte.
7. Strömungen durch Capillarröhren und Membranen. Formeln von Poiseuille. Geringe Permeabilität der Gewebe.
8. Die Plasmaströmungen. Verschiedene Ansichten. Der Strömungsvorgang in den Staubfädenhaaren von Tradescantia; die Contractilitätstheorie. Mechanische Gesichtspunkte.

II. Feste Körper 402
1. Das Erkennen des Aggregatzustandes.
2. Elasticität, Weichheit, Dehnbarkeit. Ermittlung der Eigenschaften eines Objects. Verhalten des Primordialschlauches und der Zellmembranen. Verhalten der Gewebe; die Factoren ihrer Elasticität und Biegungsfestigkeit. Gleichgewichtszustand entgegengesetzt gespannter Gewebe, die zu einem Ganzen verbunden sind.
3. Innerer Bau der festen Körper. Organisirte und unorganisirte Körper. Verschiedenheiten in Betreff der Anordnung der Atome. Wesen der Organisation.
4. Cohäsion und Adhäsion.
5. Quellung und Diosmose. Quellung mit und ohne Veränderung der Molecularconstitution. Absorption von Gasen in quellungsfähigen Körpern. Menge und Vertheilung der Imbibitionsflüssigkeit. Quellung absterbender Membranen. Schichtung und Streifung. Diosmose.

III. Licht 435
1. Bestimmung des Brechungscoefficienten. Methoden von Brewster, Moser, Bertin und Harting. Kritik der Harting'schen Formel. Bestimmung des Brechungscoefficienten bei kugeligen und cylindrischen Gebilden.
2. Die Durchleuchtung der Körper.
3. Einfluss des Lichtes auf Vegetationsprocesse.

IV. Wärme 447
1. Krystallbildungen bei dem Gefrieren.
2. Das Gefrieren der Gewebe.
3. Veränderung der Zellhäute beim Aufthauen.
4. Einfluss der Temperatur auf die Vegetationsprocesse.

V. Elektricität 457
Apparate zur Anwendung derselben. Art der Einwirkung galvanischer Ströme auf das Plasma.

Neunter Abschnitt: Mikrochemie.

I. Allgemeine Regeln 463
Steigerung der Concentration anzuwendender Reagentien. Herstellung einer Strömung in der Beobachtungsflüssigkeit. Apparate zu Beobachtungen bei höherer Temperatur.

II. Aufzählung der Reagentien 470
Aetzkali, wässerige und weingeistige Iodlösung, Iod gelöst in einer Iodverbindung, concentrirte Schwefelsäure, Kupferoxydammoniak, etc. etc.

III. Art des Vorkommens chemischer Verbindungen 475

IV. Krystallographische Untersuchungen 476
Mikroskopische Bestimmung der Krystallformen. Formeln und Constructionen, welche vorzugsweise bei mikroskopischen Beobachtungen Anwendung finden. Krystallbestimmungen nach Zenger und Werthcim.

Seite

V. Specielle Betrachtung der wichtigsten chemischen Verbindungen 484
1. Kalk und Kieselerde. Vorkommen und Nachweisung derselben. Herstellung der Kieselskelette, Ausziehen der Kieselerde. Beispiele von Verkieselungen.
2. Pflanzensäuren und Gerbstoffe. Nachweisung der Gerbstoffe. Art des Vorkommens derselben (Hartig's »Gerhmehl«). Die Bedeutung der Gerbstoffe nach Wigand. Vorkommen und Vertheilung im Gewebe. Gerbstoffe in absterbenden Zellen.
3. Glycoside.
4. Farbstoffe. Farbstoffe, welche eingelagert im Plasma vorkommen (Chlorophyll, Phycochrom, Phycoerythrin, Diatomin, Anthoxanthin). Farbstoffe, welche im Zellsaft gelöst vorkommen (Erythrophyll und Anthocyan). Farbstoffe, welche ursprünglich im Zellsaft gelöst sind und später von den Membranen gespeichert werden (Farbstoff der Kreppwurzel, der Farbhölzer, der Berberiswurzeln, der rothen und violetten Saamenschaalen). Farbstoffe, welche nur eingelagert in die Membran vorkommen. Farbstoffe, welche von den Zellen ausgeschieden werden und sich zwischen denselben oder an der freien Aussenfläche der Membranen ablagern.
5. Pectinstoffe.
6. Kohlenhydrate. Reaction auf Traubenzucker, Dextrin und Rohrzucker. Vorkommen und Nachweisung des Inulins. Nachweisung der Stärke, Verhalten derselben gegen Iodlösungen und gegen das Speichelferment. Die Celluloseartcn, ihr Verhalten gegen Lösungs- und Quellungsmittel und gegen Iodsolution.
7. Proteinverbindungen. Nachweisung derselben im gelösten und ungelösten Zustand.

Zehnter Abschnitt: Morphologie.

I. Aufbau der organisirten Substanzen 534
1. Stärkekörner und Zellmembranen.
Anatomie: Schichtung und Streifung, Verlauf der Schichten und Streifen, Anordnung der dichten und weichen Partieen im Raume; Formverhältnisse der Membranen.
Wachsthum: Unterscheidung der Intussusception von der Apposition. Vermehrungsweise und Dickenwachsthum der Schichten, Flächenwachsthum der Membranen, ungleiches Wachsthumsvermögen verschiedener Zonen und Schichten.
2. Aufbau der Plasmagebilde. Bläschennatur isolirter Gebilde, speciell der Chlorophyllkörner und Zellkerne. Spermatozoen und Proteinkrystalloide. Entstehung der Einschlüsse, ob durch innere Differenzirung oder durch Auflagerung.

II. Die Gesetze der Zellentheilung 559
1. Zellreihen. Theilungsvermögen der Endzellen und Gliederzellen.
2. Zellflächen. Theilungsvermögen der Randzellen und der Flächenzellen, peripherisches und intercalares Wachsthum. Scheitelwachsthum, Erkennung der Scheitelzelle und ihrer Theilungsweise; intercalare Theilungen.
3. Zellkörper. Zellkörper, welche aus Zellflächen entstehen. Kleinere Zellgruppen, welche aus einer einzigen Zelle entstehen. Zellkörper mit peripherischem Wachsthum ohne ausgezeichnete Scheitelzelle. Zellkörper mit einer Scheitelzelle.

III. Allgemeinere Wachsthumsgesetze 577
1. Zellenbildung und Zellenausdehnung. Aufgabe des Beobachters. Wachsthum des Stammes von Cladostephus.

Seite

Bildung langgestreckter Zellen in einem kurzzelligen Bildungsgewebe. Ausscheidung des Cambiums. Hervorhebung der wichtigsten Momente, welche bei Untersuchungen über das Wachsthum der höhern Pflanzen in Betracht kommen.

2. Weitere Veränderungen im Gewebe. Entstehung von Lücken und Gängen, ob durch Auseinanderweichen der Zellen, durch Desorganisation von Zellen und Zellcomplexen oder durch Zerreissen. Entstehung der Spaltöffnungen. Peridermbildung.

IV. Bildung seitlicher Organe 588

1. Morphologischer Ort der Entstehung. Verzweigung der Scheitelzelle und der Gliederzellen bei Zellreihen. Anlegung neuer Organe bei Zellflächen und Zellkörpern: die verschiedenen organbildenden Gewebe.

2. Morphologische Unterscheidung der Organe. Trichom, Thallom, Stamm, Blatt und Wurzel. Unterscheidung derselben.

3. Entwicklungsfolge und Stellungsverhältnisse. Die Organe entstehen entweder regellos, oder in Längsreihen, oder in Quirlen, oder in einer fortlaufenden Spirale oder Zickzacklinie. Stellungsverhältnisse der ausgebildeten Organe. Verwachsungen.

4. Systeme gleichwerthiger Organe. Schematische Veranschaulichung der hieher gehörigen Fragen. Unterscheidung des sympodialen Aufbaues vom monopodialen (Callithamnion, Solaneen, Weinrebe, Kryptogamen). Aufbau der Blüthenstände.

V. Entwicklung der Fortpflanzungszellen 607

1. Bildungsweise der Fortpflanzungszellen. Bildung durch Metamorphose einer vegetativen Zelle, durch besondere Zelltheilung mit oder ohne Scheidewandbildung, durch Ausstülpung und Abschnürung, durch freie Zellbildung, durch Copulation, durch Befruchtung.

2. Lage der keimbildenden Zellen. Sind es Endzellen oder Gliederzellen, Randzellen oder Flächenzellen, Aussenzellen oder Innenzellen? Gruppirung der reproductiven Zellen unter sich.

3. Ursprung und Entwicklungsfolge der keimbildenden Zellen. Entstehung eines reproductiven Zellcomplexes aus einer oder aus mehreren ursprünglichen Zellen; Resorption reproductiver Zellen; Zellen mit einheitlichem Ursprung nur theilweise reproductiv. Entwicklungsfolge.

4. Veränderungen benachbarter Zellen und Zellcomplexe. Modification des Inhalts und der Membranen; erhöhte Theilungsfähigkeit benachbarter Zellen.

VI. Gefässbündeluntersuchungen 617

Behandlung der Präparate. Feststellung des Gefässbündelverlaufes. Entwicklung der Gefässbündel.

Berichtigungen.

Seite 269 Zeile 8 von oben ist zu lesen contrahirt, statt concentrirt.
,, 289 ,, 5 von unten ist zu lesen beiderlei, statt beiden.
,, 313 ,, 19 von unten ist zu lesen welchen, statt welcher.
,, 380 ,, 13 von oben ist nach Reagentien das Wort häufig einzuschalten.
,, 510 ,, 8 von unten ist zu lesen Kupferlösungen, statt Zuckerlösungen.

Der einleitende Satz im Capitel über das Saftsteigen (pag. 382) bezieht sich in dieser Fassung auf das nächstfolgende Capitel (pag. 389), welches im Manuscript ursprünglich vorangestellt war.

Erster Abschnitt.

Theorie des Mikroskops.

I.

Einleitung.

Das zusammengesetzte dioptrische Mikroskop besteht im Wesentlichen aus zwei collectiv brechenden Linsensystemen, wovon das eine dem Gegenstand zugekehrte als Objectiv, das andere dem Auge zugewendete als Ocular bezeichnet wird. Das Objectiv entwirft von dem Gegenstand, der sich etwas ausserhalb seiner Brennweite befindet, ein verkehrtes physisches Bild, welches durch das Ocular wie durch eine Loupe betrachtet wird. Hiernach ist die Stellung des Bildes zum Ocular insofern bestimmt, als der gegenseitige Abstand stets etwas kleiner sein muss, als die Brennweite des letztern. 1

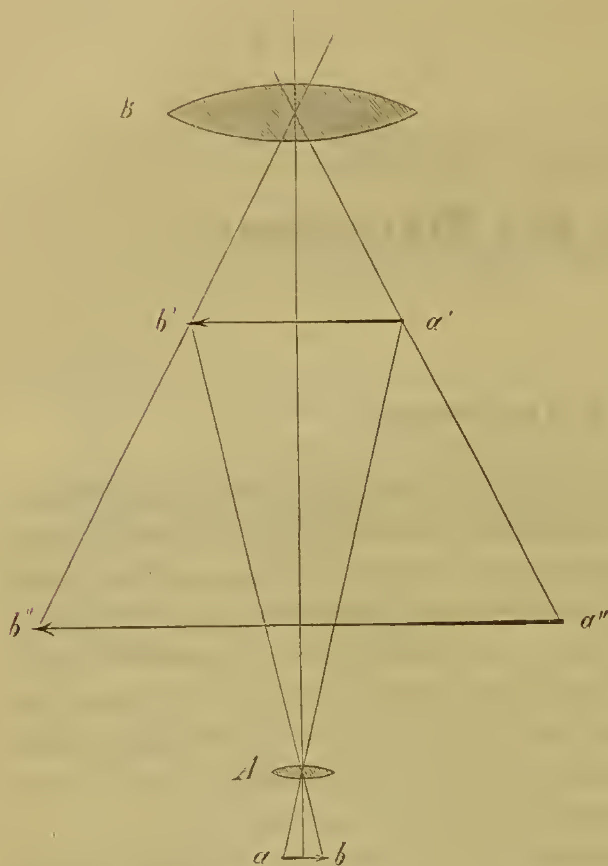
Die ganze optische Wirkung des Mikroskops lässt sich in umstehender Figur 1 leicht übersehen. Die von dem Gegenstande *ab* ausgehenden Strahlen vereinigen sich nach dem Durchgang durch die Objectivlinse *A* zu dem wahren Bilde *b' a'*, dessen Lage und Grösse einzig und allein von der Brennweite der Linse und der Entfernung des Objectes abhängt. Bezeichnet man diese Grössen beziehungsweise mit f und p und den Abstand des Bildes mit p^*, so wird die gegenseitige Abhängigkeit bekanntlich durch die Gleichung ausgedrückt

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p^*} = \frac{1}{f}$$

Das Bild *b' a'* verhält sich zur Ocularlinse *B* wie ein wirkliches Object, und da sein Abstand so geregelt wird, dass es der Linse etwas näher liegt als ihr Hauptbrennpunct, so kommt ein virtuelles Bild *b'' a''* zu Stande, welches von einem über *B* befindlichen Auge betrachtet werden kann. Bezeichnen wir mit p_1 und p_1^* die Abstände

der Bilder $b'a'$ und $b''a''$ vom Ocular und mit f_1 die Brennweite des letztern, so besteht die Gleichung

$$\frac{1}{p_1} - \frac{1}{p_1^*} = \frac{1}{f_1}$$



Figur 1.

Sind Ocular und Objectiv in constanter Entfernung von einander und deren Brennweiten f und f_1 gegeben, so ist p_1^* durch p_1, p_1 durch p^*, p^* durch p und folglich auch die erste Grösse p_1^* durch die letzte p bestimmt. Demzufolge ist es immer möglich, die Entfernung des Gegenstandes vom Objectiv so zu regeln, dass das schliessliche virtuelle Bild um die Weite des deutlichen Sehens vom Auge absteht.

Die Lineardimensionen des Bildes verhalten sich zu den entsprechenden des Gegenstandes, wie die bezüglichen Entfernungen von der bilderzeugenden Linse. Für das Objectiv wird dieses Verhältniss durch $\frac{p^*}{p}$, für das Ocular durch $\frac{p_1^*}{p_1}$ ausgedrückt; die Combination beider im Mikroskop bedingt somit eine Vergrösserung vo $\frac{p^* p_1^*}{p\ p_1}$ Mal.

2 Soll das vom Auge wahrgenommene Bild deutlich und hell sein, so müssen die Nachtheile der sphärischen und chromatischen Aberration auf ein Minimum reducirt und die Oeffnungen der Linsen möglichst gross gemacht werden. Diese Bedingungen stehen nun aber insofern mit einander im Widerspruch, als bei einer einfachen Linse die Aberrationen um so stärker hervortreten, je grösser die Oeffnung derselben. Die Deutlichkeit lässt sich also nur auf Kosten der Hellig-

keit erzielen und umgekehrt. Dieser Uebelstand erreicht bei den älteren Mikroskopen einen solchen Grad, dass ihre Bilder, wenn sie einigermaassen befriedigend sein sollen, schon bei mässiger Vergrösserung äusserst lichtschwach ausfallen.

Erst in neuerer Zeit kam man auf die glückliche Idee, das Objectiv aus zwei bis drei annähernd achromatischen Doppellinsen zusammenzusetzen; man brachte es auch bald dahin, durch geschickte Combination derselben die beiden Aberrationen weit vollständiger zu beseitigen, als diess bei der früheren Einrichtung durch blosse Verkleinerung der Oeffnung irgend erreichbar wäre. Ueberdiess erzielte man dadurch den wichtigen Vortheil, dass — da die Herumlenkung der Strahlen zum physischen Bilde sich auf mehrere Linsen vertheilt — die Krümmungen derselben bedeutend schwächer sein dürfen und demnach eine grössere Oeffnung zulassen.

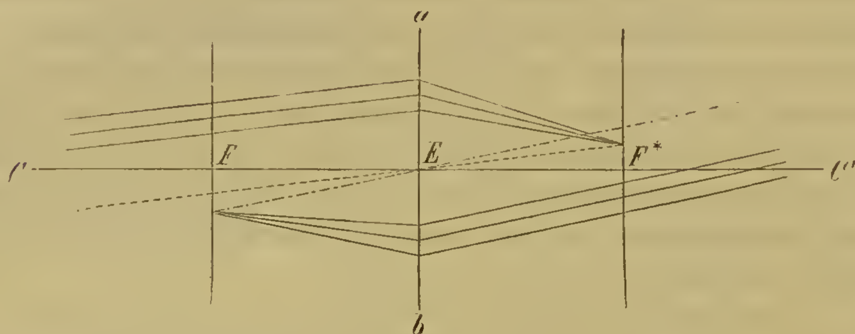
Wir werden in der Folge die Principien der Achromasie und des 3
Aplanatismus, soweit dieselben bei der Verfertigung der Mikroskope Anwendung finden oder wenigstens Anhaltspuncte bieten, noch näher erörtern; vorläufig wollen wir ein gewöhnliches, aus drei Doppellinsen bestehendes Objectiv, wie es aus der Hand des Optikers hervorgeht, als gegeben betrachten und den Gang der Lichtstrahlen durch dasselbe — vom Object bis zur Wiedervereinigung im physischen Bilde — verfolgen. Wir legen dabei die »dioptrischen Untersuchungen« von Gauss*) zu Grunde, worin die Gesetze der Lichtbrechung für ein centrirtes**) System beliebig vieler sphärischer Trennungsflächen, zwischen denen Medien mit verschiedenen Brechungscoefficienten liegen, entwickelt sind. In einem folgenden Kapitel soll diese Entwicklung selbst mit einigen Kürzungen und Abänderungen, welche, wie wir glauben, Nichtmathematikern das Verständniss erleichtern, mitgetheilt werden; hier mag es genügen, wenn wir die wichtigsten Ergebnisse derselben zusammenfassen und gestützt darauf die Unterschiede und Analogieen, welche zwischen einer unendlich dünnen Linse und einem beliebigen Linsensystem bestehen, hervorheben.

Eine unendlich dünne Sammellinse, d. h. eine solche, deren 4
Dicke gegen die Krümmungsradien vernachlässigt werden darf, hat

*) C. F. Gauss, Dioptrische Untersuchungen. Abhandlungen d. Göttinger Gesellschaft I, 1843.

**) Centrirt heisst ein System sphärischer Flächen, wenn die Mittelpuncte derselben in einer geraden Linie liegen.

bekanntlich die Eigenschaft, Strahlen, die nach ihrem optischen Mittelpunct zielen, ungebrochen durchgehen zu lassen und parallel auffallende in einem Puncte, dem Hauptbrennpuncte, zu vereinigen. Ist also *a b* (Fig. 2) die gedachte Linse, *C C'* ihre Axe, d. h. die Linie, in welcher die Krümmungscentra liegen, und *E* der optische Mittelpunct; sind ferner *F* und F^* zwei um die Brennweite von der

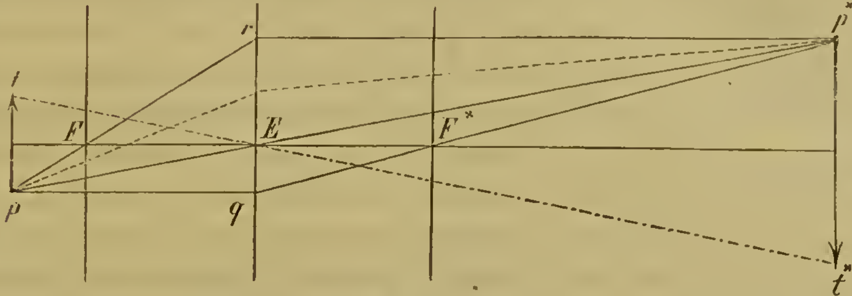


Figur 2.

Linse abstehende Puncte und in denselben senkrecht zur Axe zwei Ebenen errichtet, die wir mit den nämlichen Buchstaben bezeichnen wollen: so werden Strahlen, die von einem Punct der Ebene *F* ausgehen, die Linse parallel verlassen, und umgekehrt Strahlen, welche unter sich parallel einfallen, in der Ebene F^* sich in einem Punct vereinigen. Jedem einfallenden Strahlenkegel, dessen Spitze in der Ebene *F* liegt, entspricht ein ausfahrender Strahlencylinder, und jedem einfallenden Strahlencylinder ein ausfahrender Strahlenkegel, dessen Spitze in die Ebene F^* fällt. Sind die unter sich parallelen Strahlen überdiess mit der Axe parallel, so kommt ihr Durchschnitts- oder Vereinigungspunct auf der andern Seite der Linse in die Axe, also in *F* oder F^*, zu liegen.

Auf dieses Verhalten, verbunden mit der Eigenschaft der sphärischen Flächen, von einem Puncte ausgehende Strahlen so zu brechen, dass sie sich (nöthigenfalls verlängert) wieder in einem Puncte schneiden, gründet sich die bekannte Construction, vermittelst deren für ein gegebenes Object Lage und Grösse des Bildes leicht bestimmt werden kann. Man zieht nämlich von den Endpuncten *pt* (Fig. 3) des Gegenstandes je zwei Linien *pr* und *pq*, von denen die eine die Axe in *F* schneidet, während die andere parallel mit derselben verläuft; von den Durchschnittspuncten *q* und *r* mit der Ebene *E* sodann zwei andere Linien rp^* und qp^*, deren Richtungen gegen jene gleichsam vertauscht sind: rp^* ist parallel mit der Axe, qp^* schneidet

die letztere in F^*. Die beiden Linien pr und pq repräsentiren, wie man leicht sieht, zwei Lichtstrahlen, die sich nach der Brechung in p^* vereinigen, und da alle übrigen von p ausgehenden Strahlen in gleicher Weise nach p^* gebrochen werden, so entsteht in p^* das Bild



Figur 3.

des Punctes p. Durch eine ähnliche Construction erhält man das Bild des andern Endpunctes t, sowie aller übrigen zwischen p und t gelegenen Puncte. Man kann auch, um die Sache noch mehr zu vereinfachen, die eine der beiden Hülfslinien durch den Richtungsstrahl pEp^*, welcher ungebrochen durchgeht, ersetzen.

Wollen wir die von Gauss eingeführte Terminologie auch auf 5
diesen einfachen Fall einer unendlich dünnen Linse ausdehnen, so wären die Ebenen F und F^* als Brennebenen, und die Ebene E als Hauptebene zu bezeichnen. Die Abstände der Brennebenen von der Hauptebene entsprechen der Brennweite, und ihre Durchschnittspuncte mit der Axe den Brennpuncten.

Es darf übrigens nicht ausser Acht gelassen werden, dass die erwähnten Constructionen, sowie überhaupt die in den physikalischen Lehrbüchern gegebenen Formeln, nach denen gewöhnlich die Lage des Bildes berechnet wird, auch für unendlich dünne Linsen nur unter der Voraussetzung genau sind, dass die vom Object ausgehenden Strahlen mit der Axe sehr kleine Winkel bilden und dass der wirksame Theil der brechenden Flächen ein kleiner Theil der ganzen Kugeloberfläche sei. Es ist diess eine Beschränkung, die wir auch bei der nun folgenden Betrachtung der Linsensysteme beibehalten, so dass also die Abweichung wegen der Kugelgestalt unberücksichtigt bleibt.

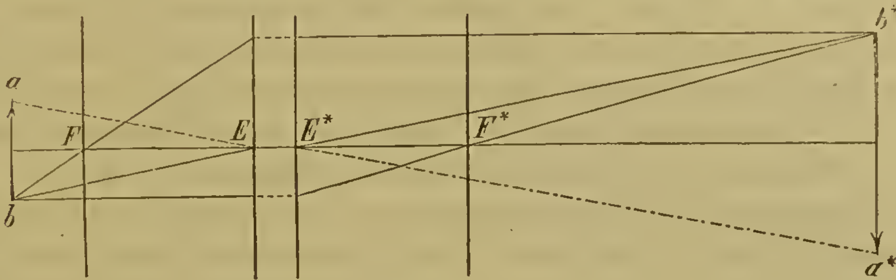
Wenn die brechenden Flächen, welche die Vereinigung der 6
Strahlen (oder ihrer Verlängerungen) zum Bilde bewerkstelligen, so weit von einander abstehen, dass eine Vernachlässigung dieser Abstände gegen die übrigen Constanten unstatthaft erscheint, so erleiden die gegebenen Regeln, nach denen die Wege der gebrochenen Strahlen

bestimmt werden, eine wesentliche Modification. Dieser Fall kann sowohl bei einzelnen Linsen von erheblicher Dicke, als bei Linsensystemen, wie sie im Mikroskop zur Anwendung kommen, eintreten; er ist in der erwähnten Abhandlung von Gauss in seiner ganzen Allgemeinheit, d. h. ohne alle Beschränkung der Abstände zwischen den brechenden Flächen, vorausgesetzt.

Ein solches System von brechenden Flächen, deren Krümmungscentra in einer geraden Linie liegen, hat nun zunächst die Eigenschaft mit einer unendlich dünnen Linse gemein, Strahlen, die von einem Puncte ausgehen, wieder in einen Punct zu vereinigen, oder anders ausgedrückt: homocentrische Lichtbündel so zu brechen, dass sie nach sämmtlichen Brechungen immer noch homocentrisch bleiben. In zweiter Linie lässt sich zeigen, dass unter allen Umständen auf der gemeinsamen Axe zwei Puncte F und F^* liegen, welche mit den Brennpuncten einer einfachen Linse vollkommen übereinstimmen, indem die Ebenen, welche in diesen Puncten senkrecht zur Axe errichtet werden, alle Eigenschaften der Brennebenen besitzen. Da jedoch die letzteren hier unter Umständen innerhalb der Grenzflächen des Systems liegen, so können sie nur durch die bereits oben mitgetheilte allgemein gültige Definition charakterisirt werden, nämlich dadurch, dass jedem einfallenden homocentrischen Lichtbündel, dessen Centrum in die (mit Rücksicht auf die Fortpflanzungsrichtung) vordere Brennebene fällt, ein ausfahrendes parallelstrahliges Bündel entspricht, und umgekehrt jedem parallelstrahligen einfallenden ein homocentrisches ausfahrendes, dessen Centrum in die hintere Brennebene fällt. Es wäre z. B. ungenau zu sagen, dass parallel auffallende Strahlen nach dem Durchgang durch das System sich in einem Puncte schneiden, da der wirkliche Kreuzungspunct derselben in manchen Fällen innerhalb des Systems liegt und zu den Brennebenen in keinerlei Beziehung steht.

7 Das Unterscheidende eines zusammengesetzten brechenden Systems besteht nun aber darin, dass an die Stelle des optischen Mittelpunctes zwei Puncte E und E^* treten, wovon der erstere hinsichtlich des einfallenden, der letztere hinsichtlich des ausfahrenden Strahls die Rolle desselben übernimmt. Diese Puncte heissen die Hauptpuncte des Systems und die Ebenen, welche in ihnen senkrecht zur Axe errichtet werden, die Hauptebenen. Ihre Bedeutung wird sofort klar, wenn wir das Bild irgend eines Gegenstandes ab Fig. 4, wie oben bei der Linse, durch Construction zu bestimmen suchen. Ein von b nach dem ersten Hauptpunct E zielender Strahl erfährt auch hier

keine Ablenkung in dem Sinne, dass die Fortpflanzungsrichtungen vor und nach der Brechung einen Winkel bilden würden; allein der ausfahrende Strahl schneidet, rückwärts verlängert, die Axe im zweiten Hauptpunct E^*, statt in E. Er verhält sich also wie ein ungebrochener Strahl, den man um den Abstand EE^* längs der Axe verschoben hätte. Eine ähnliche Verschiebung muss nun auch bei jedem andern Strahl, welches auch seine Richtung sein mag, hinzugedacht und in der Construction berücksichtigt werden. Die ausfahrenden



Figur 4.

Strahlen verhalten sich stets so, als ob in der ersten Hauptebene die Brechung und dann eine Verschiebung der gebrochenen Strahlen längs der Axe um den Abstand EE^* stattgefunden hätte, oder was auf dasselbe herauskommt, als ob zuerst die Verschiebung der einfallenden Strahlen und hierauf die Brechung in der zweiten Hauptebene erfolgt wäre. Demzufolge lässt sich die Richtung eines parallel mit der Axe einfallenden Strahls einfach dadurch bestimmen, dass man denselben bis zur zweiten Hauptebene verlängert und von hier durch den Brennpunct F^* ausfahren lässt. Umgekehrt würde ein Strahl, welcher die Axe im ersten Brennpunct F schneidet, von der ersten Hauptebene an parallel mit der Axe zu ziehen sein.

Von einem beliebigen Objectpunct b (Fig. 4), der jedoch nicht in die Axe fallen darf, lassen sich also drei ausgezeichnete Strahlen ziehen, für welche die entsprechenden ausfahrenden ebenso leicht, wie bei der einfachen Linse, zu construiren sind. Zwei derselben genügen, um den Bildpunct b^* zu bestimmen; denn die übrigen werden natürlich, wie in der Figur angedeutet, ebenfalls nach diesem Punct hin gebrochen.

Wie man sieht, ist die Gesammtwirkung eines brechenden Sy- 8
stems in jeder Beziehung der Brechung durch eine unendlich dünne Linse analog, aber nicht ganz aequivalent. Eine in E befindliche Linse von gleicher Brennweite entwirft zwar von dem Objecte $a\,b$ (Fig. 4) ein mit b^*a^* vollkommen übereinstimmendes Bild; das letztere müsste

aber parallel mit sich selbst um den Abstand der beiden Hauptebenen längs der Axe verschoben werden, um es mit $b^* a^*$ zur Deckung zu bringen.

Die Brennweiten eines Systems werden durch die Entfernungen der Brennpuncte von den zugeordneten Hauptpuncten gemessen, also durch die Linien FE und E^*F^*. Sie wurden im Vorhergehenden unter sich gleich angenommen, weil diese Gleichheit wirklich besteht, wenn die Endflächen des Systems — wie diess beim Mikroskop gewöhnlich der Fall ist — an dasselbe Medium grenzen. Wo diese Bedingung nicht erfüllt ist, verhalten sich die beiden Brennweiten, wie die Brechungscoefficienten der entsprechenden Medien. Bewegt sich z. B. der einfallende Strahl in Wasser und der ausfahrende in Luft, so verhält sich die vordere Brennweite zur hinteren wie $1\frac{1}{3}$ zu 1 ($1\frac{1}{3}$ ist der approximative Brechungscoefficient des Wassers). Ein nach E zielender Strahl erfährt unter dieser Voraussetzung nicht bloss eine Verschiebung nach E^*, sondern er wird überdiess so gebrochen, als ob er in E aus Wasser in Luft überginge. Der sogenannte Richtungsstrahl, wie der ungebrochen durchgehende Strahl auch hier, entsprechend der Bezeichnung für eine Brechung, gewöhnlich genannt wird, kann also nicht mehr durch E und E^*, sondern er muss durch Puncte gezogen werden, von denen der erste um die hintere, der zweite um die vordere Brennweite von dem zugeordneten (näher liegenden) Brennpunct absteht. Man hat diese beiden Puncte, welche sich in diesem Falle in die Rolle des optischen Mittelpunctes einer einfachen Linse theilen, die Knotenpuncte genannt. Für die folgende Betrachtung des Mikroskops erscheint jedoch die Einführung dieser Knotenpuncte entbehrlich, da das Eintauchen der Objectivlinsen in Wasser, sowie die Wirkung der Deckgläschen, ebensogut nachträglich in Rechnung gebracht werden kann.

9 Bezeichnet man den Abstand des Objectes von der ersten Hauptebene mit p, denjenigen des Bildes von der zweiten Hauptebene mit p^*, endlich die Brennweite mit f, so besteht die Gleichung:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p^*} = \frac{1}{f}$$

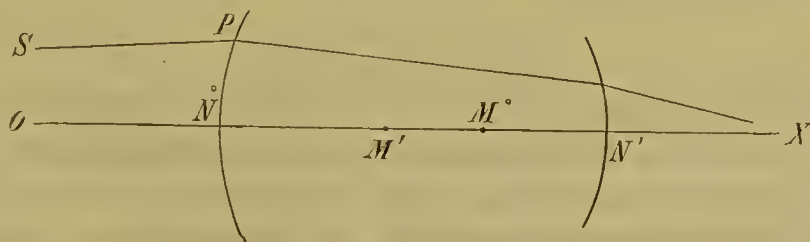
welche mit der oben für eine einzige Brechung aufgestellten übereinstimmt. Die Grössen p und p^* werden conjugirte Vereinigungsweiten genannt; p^* ist negativ zu nehmen, wenn Bild und Object auf derselben Seite der Hauptebenen liegen, was immer zutrifft, sobald $p < f$. Das Verhältniss von p zu p^* giebt in gleicher Weise, wie bei einfachen Linsen, die lineare Vergrösserungszahl, so

dass der oben (Nr. 1) gefundene Werth derselben für alle Fälle richtig bleibt.

II.

Analytische Bestimmung der Cardinalpuncte brechender Systeme.

Es handelt sich jetzt darum, die Puncte E und E^*, F und F^*, 10
welche man die optischen Cardinalpuncte genannt hat, für ein gegebenes brechendes System, bei welchem die Krümmungen und Abstände der brechenden Flächen, sowie die Brechungscoefficienten der Medien bekannt sind, zu bestimmen. Diese Aufgabe lässt sich jedoch in unserem speciellen Falle, wo nur Linsen und Combinationen von solchen in Betracht kommen, auf eine viel einfachere zurückführen. Es genügt, die theoretische Betrachtung auf zwei brechende Flächen auszudehnen und die Rechnung nach der gefundenen Formel für die einzelnen das System bildenden Linsen oder Flächenpaare auszuführen. Je zwei Systeme von Cardinalpuncten lassen sich dann in gleicher Weise combiniren, wie zur Bestimmung derselben die Wirkungen zweier Brechungen combinirt wurden. Dasselbe gilt natürlich auch für die resultirenden Systeme; die Combination kann so lange fortgesetzt werden, bis endlich die Gesammtwirkung der brechenden Flächen auf ein System von Haupt- und Brennpuncten zurückgeführt ist.



Figur 5.

Es seien nun N^0 und N' (Fig. 5) die sogenannten Scheitel einer Linse, d. h. die Puncte, in welchen ihre Grenzflächen von der optischen Axe OX geschnitten werden, ferner r^0 und r' die bezüglichen Krümmungsradien, $M^0 M'$ die zugeordneten Mittelpuncte und n^0, $n' n^*$ die absoluten Brechungscoefficienten der Medien in ihrer Reihenfolge von links nach rechts: vor, in und hinter der Linse. Ist das erste und letzte Medium Luft, wie bei den meisten optischen Instrumenten, so können n^0 und $n^* = 1$ gesetzt werden. Wir lassen jedoch

diese Grössen, der Uebereinstimmung in der Form der Gleichungen zu lieb, vorläufig unbestimmt figuriren.

Ist nun SP die Linie, in welcher sich der einfallende Strahl fortpflanzt, so lässt sich ihre Lage in der Papierebene durch ein beliebiges rechtwinkliges Coordinatensystem bestimmen, auf welches dann auch alle übrigen in Betracht kommenden Richtungen und Puncte bezogen werden können. Wählen wir die gerade Linie, auf welcher die Krümmungscentra liegen, als Abscissenaxe und bezeichnen wir zur Abkürzung die Abscissen der Puncte N^0, M^0, N', M' mit diesen nämlichen Buchstaben, so dass also $r^0 = M^0 - N^0$, $r' = M' - N'$, (welche Werthe demnach für convexe Brechungsflächen positiv, für concave negativ ausfallen), so nimmt die Gleichung für den einfallenden Strahl folgende Form an:

$$y = \frac{\beta^0}{n^0}(x - N^0) + b^0 \qquad (1$$

Für Leser, denen die mathematische Ausdrucksweise weniger geläufig ist, sei hiezu bemerkt, dass y die zur optischen Axe rechtwinklige Ordinate, x die zugehörige Abscisse (von einem beliebigen Anfangspunct an gerechnet), $\frac{\beta^0}{n^0}$ die Tangente des Winkels, welchen der einfallende Strahl mit der Axenrichtung bildet, endlich b^0 die Ordinate des Punctes ist, in welchem der Strahl eine durch N^0 senkrecht zur Axe gelegte Ebene trifft.

11 Durch die erste Brechung in P erhält der Strahl eine andere Richtung, die wir durch die Gleichung bestimmen

$$y = \frac{\beta'}{n'}(x - N^0) + b'$$

in welcher, wie man leicht einsieht, die Grössen $\frac{\beta'}{n'}$ und b' von $\frac{\beta^0}{n^0}$ und b^0, sowie von der Wölbung der Linsenfläche abhängig sind.

Ist die Oeffnung der Linse, wie wir voraussetzen, im Verhältniss zu den Krümmungsradien sehr klein, so fällt das wirksame Stück der brechenden Fläche nahezu mit einer durch den Scheitel gelegten Tangentialebene zusammen. Letztere wird daher von dem rückwärts verlängerten gebrochenen Strahl in einem Puncte geschnitten, dessen Abstand b' von der Axe bis auf eine sehr kleine Grösse, die wir vernachlässigen dürfen, gleich b^0 ist. Die Gleichung des gebrochenen Strahls geht daher über in

$$y = \frac{\beta'}{n'}(x - N^0) + b^0 \qquad (2$$

Es ist nun einleuchtend, dass in gleicher Weise auch die Bezie-

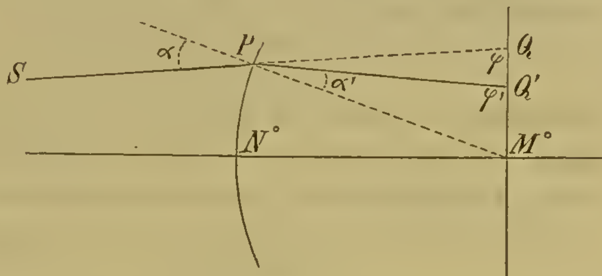
hung zum zweiten Scheitel N' ausgedrückt werden kann. Man hat zu diesem Ende bloss das Absolutglied b^0 durch ein anderes b^* zu ersetzen, welches den Einfallspunct auf die zweite brechende Fläche, oder streng genommen auf die durch N' gelegte Tangentialebene bestimmt. Wir setzen also

$$y = \frac{\beta'}{n'}(x - N^*) + b^* \qquad (3)$$

Die Gleichsetzung der Ausdrücke rechts in den Gleichungen (2) und (3) giebt

$$b^* = b^0 + \frac{\beta'}{n'}(N^* - N^0) \qquad (4)$$

Um nun noch die unbekannte Grösse β' durch β^0 zu bestimmen, errichten wir in M^0 (Fig. 6) eine Senkrechte, welche den gebrochenen Strahl in Q' und die Verlängerung des einfallenden in Q schneidet. Die Winkel, welche dieselbe mit PQ und PQ' bildet, seien φ und φ', der Einfalls- und Brechungswinkel α und α'. In den Dreiecken PQM^0 und $PQ'M^0$ bestehen alsdann, da $PM^0 = r^0$, die trigonometrischen Beziehungen



Figur 6.

$$M^0Q = r^0 \frac{\sin\alpha}{\sin\varphi}\,; \qquad M^0Q' = r^0 \frac{\sin\alpha'}{\sin\varphi'}$$

Hieraus ergiebt sich

$$\frac{M^0Q'}{M^0Q} = \frac{\sin\alpha' \ \sin\varphi}{\sin\alpha \ \sin\varphi'}$$

oder da $\frac{\sin\alpha'}{\sin\alpha}$ nach dem Brechungsgesetz $= \frac{n^0}{n'}$

$$M^0Q' = \frac{n^0\sin\varphi}{n'\sin\varphi'} M^0Q \qquad (5)$$

Aus den Gleichungen (1) und (2) für den einfallenden und den gebrochenen Strahl erhält man aber für die Ordinaten der Puncte Q und Q', für welche $x - N^0 = r^0$, die Werthe

$$y\,(= M^0Q) = b^0 + \frac{\beta^0 r^0}{n^0}$$

$$y\,(= M^0Q') = b^0 + \frac{\beta' r^0}{n'}$$

Substituirt man dieselben in die Gleichung (5), so wird

$$b^0 + \frac{\beta' r^0}{n'} = \frac{n^0\sin\varphi}{n'\sin\varphi'}\left(b^0 + \frac{\beta^0 r^0}{n^0}\right)$$

oder $$\beta' = \frac{n^0 b^0 + \beta^0 r^0}{r^0} \frac{\sin \varphi}{\sin \varphi'} - \frac{n' b^0}{r} \; .$$

In diesem Ausdruck ist das erste Glied rechts streng richtig; allein da φ und φ' nach unserer Voraussetzung vom rechten Winkel nur um kleine Grössen differiren und also ihre Sinus von der Einheit um Grössen abweichen, die gegen jene selbst wieder sehr klein sind, so wird — da der Quotient noch überdiess mit den kleinen Grössen b^0 und β^0 zu multipliciren ist — bis auf Grössen von der dritten Ordnung der Kleinheit genau

$$\beta' = \beta^0 - \frac{n' - n^0}{r^0} b^0 \; . \tag{6}$$

12 Es ist nun ohne Weiteres klar, dass wenn die Gleichung für den Weg des Lichtstrahls nach der zweiten Brechung an der hintern Linsenfläche in die Form gebracht wird

$$y = \frac{\beta^*}{n''} (x - N^*) + b^* \tag{7}$$

die Grösse β^* genau in derselben Weise durch β' bestimmt werden kann, wie diese letztere durch β^0. Man hat daher in dem eben gefundenen Ausdruck für β' bloss die Accente zu ändern. Es ist demnach

$$\beta^* = \beta' - \frac{n'' - n'}{r'} b^*$$

oder wenn man für β' und b^* deren Werthe aus (6) und (4) substituirt

$$\beta^* = \beta^0 - \frac{n' - n^0}{r^0} b^0 - \frac{n'' - n'}{r'} \left[b^0 + \left(\beta^0 - \frac{n' - n^0}{r^0} b^0 \right) \left(\frac{N^* - N^0}{n'} \right) \right] \; .$$

Setzen wir zur Abkürzung

$$\left. \begin{aligned} u^0 &= - \frac{n' - n^0}{r^0} \;, \quad u' = - \frac{n'' - n'}{r'} \\ t' &= \frac{N^* - N^0}{n'} \end{aligned} \right\} \tag{8}$$

so geht obiger Ausdruck über in

$$\beta^* = \beta^0 + u^0 b^0 + u' b^0 + u' t' \beta^0 + u^0 u' t' b^0$$

oder auch

$$\beta^* = (u^0 + u' + u^0 u' t') b^0 + (u' t' + 1) \beta^0 \; .$$

Ebenso erhält man aus Gleichung (4), wenn man für β' und $N^* - N^0$ deren Werthe setzt

$$b^* = (u^0 t' + 1) b^0 + t' \beta^0 \; .$$

Zur weiteren Vereinfachung dieser Ausdrücke sei

$$\left. \begin{aligned} u^0 t' + 1 &= g \\ t' &= h \\ u^0 + u' + u^0 u' t' &= k \\ u' t' + 1 &= l \end{aligned} \right\} \tag{9}$$

Man hat also

$$\left.\begin{aligned} \beta^* &= k b^0 + l \beta^0 \\ b^* &= g b^0 + h \beta^0 \end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

Umgekehrt können natürlich auch die Grössen β^0 und b^0 durch β^* und b^*, wenn diese letzteren gegeben sind, bestimmt werden. Man braucht zu diesem Behufe bloss successive die aus der einen der beiden Gleichungen erhaltenen Werthe von b^0 und β^0 in die andere zu substituiren und bei der Reduction zu berücksichtigen, dass $gl - hk = 1$. Diese letztere Relation lässt sich durch Multiplication der entsprechenden Ausdrücke in (9) leicht beweisen. Man erhält

$$\left.\begin{aligned} \beta^0 &= -k b^* + g \beta^* \\ b^0 &= l b^* - h \beta^* \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

Es sei nun P ein gegebener Punct auf der (nöthigenfalls verlän- 13
gerten) geraden Linie, die der einfallende Strahl beschreibt, und ξ, η seine Coordinaten. Man hat dann nach Gleichung (1)

$$\eta = \frac{\beta^0}{n^0}(\xi - N^0) + b^0$$

oder wenn man für β^0 und b^0 ihre Werthe aus (11) substituirt

$$\eta = \frac{g\beta^* - kb^*}{n^0}(\xi - N^0) - h\beta^* + lb^*$$

folglich

$$b^* = \frac{n^0\eta + [n^0 h - g(\xi - N^0)]\beta^*}{n^0 l - k(\xi - N^0)} \quad .$$

Setzt man diesen Werth in die Gleichung (7), welche die Richtung des Strahls nach der zweiten und letzten Brechung bestimmt, so wird dieselbe, wenn die mit β^* multiplieirten Glieder zusammengestellt werden

$$y = \frac{\beta^*}{n^*}\left\{x - \left(N^* - \frac{n^0 h - g(\xi - N^0)}{n^0 l - k(\xi - N^0)} \cdot n^*\right)\right\} + \frac{n^0 \eta}{n^0 l - k(\xi - N^0)} \qquad (12)$$

und schreibt man zur Abkürzung

$$\left.\begin{aligned} N^* - \frac{n^0 h - g(\xi - N^0)}{n^0 l - k(\xi - N^0)} \cdot n^* &= \xi^* \\ \frac{n^0 \eta}{n^0 l - k(\xi - N^0)} &= \eta^* \end{aligned}\right\} \qquad (13)$$

so geht dieselbe über in

$$y = \eta^* + \frac{\beta^*}{n^*}(x - \xi^*) \quad .$$

Auf dem letzten Wege des Strahls liegt also nothwendig ein Punct P^*, dessen Coordinaten ξ^* und η^* sind; denn wenn in obiger Gleichung $x = \xi^*$ gesetzt wird, so ergiebt sich $y = \eta^*$. Da nun ξ^* und η^* einzig und allein durch ξ und η, in Verbindung mit den in g, h, k, l

eingehenden optischen Constanten, bestimmt werden und von den Grössen β^0 und b^0 unabhängig sind, so folgt daraus, dass jeder Strahl, der auf seinem ersten Weg durch den Punct P geht, auf seinem letzten Weg durch den Punct P^* gehen muss. Mit andern Worten: Einfallenden Strahlen, deren Richtungen sich im Punct P schneiden, entsprechen ausfahrende, die sich (nöthigenfalls verlängert) in P^* schneiden. Man kann den Punct P auch als Object und P^* als sein optisches Bild betrachten; jenes ist aber nur dann reell, wenn P im ersten Medium liegt, also $\xi - N^0$ negativ ist, und ebenso kann das Bild nur dann reell werden, wenn $\xi^* - N^*$ positiv ist oder P^* im letzten Medium liegt. In den entgegengesetzten Fällen sind Object oder Bild nur virtuell, d. h. die Strahlen gehen nicht wirklich von P aus oder laufen nicht wirklich in P^* zusammen, P und P^* sind bloss die Durchschnittspuncte ihrer Verlängerungen.

14 Legen wir jetzt durch die Puncte P und P^* gegen die Axe senkrechte Ebenen, so ist von selbst klar, dass jedem Punct in der einen Ebene ein coordinirter Bildpunct in der andern entspricht; denn wenn ξ constant bleibt, so erleidet auch ξ^*, das in einem gegebenen System allein von ξ abhängig ist, keine Veränderungen. Die Entfernungen der zugeordneten Object- und Bildpuncte verhalten sich wie die entsprechenden Ordinaten η und η^* oder nach Gleichung (13) wie 1 zu $\frac{n^0}{n^0 l - k(\xi - N^0)}$. Als ein solches System von Puncten kann nun jedes Object von endlicher Ausdehnung betrachtet werden; es erzeugt daher ein zusammenhängendes Bild, dessen Lineardimensionen durch das eben angegebene Verhältniss — das Object als Einheit betrachtet — bestimmt sind. Bezeichnet man die Grösse $\frac{n^0}{n^0 l - k(\xi - N^0)}$ mit m, so ist diess die lineare Vergrösserungszahl. Ihr Vorzeichen entscheidet, ob das Bild aufrecht oder verkehrt ist; ist sie negativ und mit ihr also auch $\frac{\eta^*}{\eta}$, so bedeutet diess, dass Object — und Bildpunct auf entgegengesetzten Seiten der Axe liegen.

15 Die Puncte P und P^* können natürlich innerhalb der Grenzen, die durch ihre in (13) dargestellte Abhängigkeit gezogen sind, alle möglichen Lagen annehmen; denn für jedes beliebige ξ lässt sich das entsprechende ξ^* berechnen. Von diesen Lagen verdienen namentlich drei eine besondere Beachtung, weil sie geeignet sind, eine einfachere Beziehung zwischen den einfallenden und ausfahrenden Strahlen darzubieten.

Wir wollen zunächst die beiden Puncte in eine solche Lage brin-

gen, dass sie gleich weit von der Axe abstehen. Es ist alsdann $\eta = \eta^*$ oder

$$m = \frac{n^0}{n^0 l - k(\xi - N^0)} = 1$$

woraus sich ergiebt

$$\xi - N^0 = - \frac{n^0(1-l)}{k} \quad ; \quad \text{folglich}$$

$$\xi = N^0 - \frac{n^0(1-l)}{k} \quad . \qquad (14)$$

Ebenso erhält man für ξ^*, wenn man diesen Werth in die Gleichung (13) einsetzt

$$\xi^* = N^* + \frac{n^*(1-g)}{k} \quad . \qquad (15)$$

Denken wir uns also auf der optischen Axe zwei Puncte E und E^*, deren Abscissen (die wir ebenfalls mit E und E^* bezeichnen) den eben gefundenen Werthen von ξ und ξ^* gleich sind, und stellen wir in denselben zwei Ebenen rechtwinklig zur Axe auf, so wird die erste vom einfallenden Strahl in gleicher Entfernung getroffen, wie die zweite vom ausfahrenden. Die gedachten Puncte sind also nichts anderes, als die Eingangs erwähnten Hauptpuncte des Systems, und die in ihnen errichteten Ebenen sind die Hauptebenen.

Es lässt sich auch leicht beweisen, dass wenn $n^0 = n^*$, ein nach E zielender Strahl ohne Ablenkung ausfährt. Denn macht man in der Gleichung für den einfallenden Strahl, nämlich in

$$y = \frac{\beta^0}{n^0} (x - N^0) + b^0$$

$x = E$ und substituirt für $(E - N^0)$ dessen Werth aus (14), so hat man, da y für $x = E$ Null werden soll

$$y = b^0 - \beta^0 \left(\frac{1-l}{k}\right) = 0 \quad : \quad \text{folglich}$$

$$b^0 = \beta^0 \left(\frac{1-l}{k}\right) \quad .$$

Führt man diesen Werth in den Ausdruck für β^* [Gleichung (10)] ein, so wird $\beta^* = \beta^0$ und also auch (da ja $n^* = n^0$) $\frac{\beta^*}{n^*} = \frac{\beta^0}{n^0}$ d. h. der ausfahrende Strahl bildet mit der Axe denselben Winkel, wie der einfallende: der nach E zielende Strahl ist ein Richtungsstrahl.

Die Consequenzen, die sich für den Fall ergeben, dass n^0 und n^* ungleich sind und demnach $\frac{\beta^*}{n^*}$ und $\frac{\beta^0}{n^0}$ sich zu einander verhalten wie n^0 zu n^*, wollen wir hier nicht weiter verfolgen.

Als zweiter Fall sei diejenige Lage der Puncte P und P^* er- 16
wähnt, in welcher der Bildpunct in unendliche Ferne fällt, und also

$\xi^* - N^* = \infty$ wird. Es ist alsdann, wie man leicht einsieht, auch $\eta^* = \infty$ und insofern $\eta > 0$ einen endlichen Werth hat, wie wir voraussetzen

$$m = \frac{n^0}{n^0 l - k(\xi - N^0)} = \infty$$

Da in diesem Ausdruck der Zähler eine endliche Grösse ist, so muss der Nenner $= 0$ sein und daher $k(\xi - N^0) = n^0 l$, woraus sich ergiebt

$$\xi = N^0 + \frac{n^0 l}{k} \quad . \qquad (16$$

Ebenso erhält man für den analogen dritten Fall, in welchem der Objectpunct in unendlicher Ferne liegt, aus Gleichung (13) den entsprechenden Werth von ξ^*. Berücksichtigt man nämlich, dass die im Zähler und Nenner vorkommenden Grössen $n^0 h$ und $n^0 l$ gegen die unendliche Grösse $(\xi - N^0)$ verschwinden, so findet man leicht, dass

$$\xi^* = N^* - \frac{n^* g}{k} \quad . \qquad (17$$

Diese Werthe von ξ und ξ^* entsprechen offenbar den Abscissen der beiden Brennpuncte F und F^*, und die in ihnen senkrecht zur Axe errichteten Ebenen sind die Brennebenen. So oft der eine der beiden Puncte in die entsprechende Brennebene fällt, rückt der andere in unendliche Ferne.

17 Aus den in den Gleichungen (14) bis (17) gegebenen Abscissen der Haupt- und Brennpuncte lassen sich ihre gegenseitigen Abstände durch einfache Subtraction der entsprechenden Abscissenwerthe bestimmen. Man erhält

$$\left.\begin{aligned} E - F &= -\frac{n^0}{k} \\ F^* - E^* &= -\frac{n^*}{k} \end{aligned}\right\} \qquad (18$$

Die Grössen $-\frac{n^0}{k}$ und $-\frac{n^*}{k}$, oder die Entfernungen der Hauptebenen von den zugehörigen Brennebenen, hat man die Brennweiten des Systems genannt. Sie haben unter allen Umständen — da n^0 und n^* ihrer Natur nach positive Zahlen sind — dasselbe, k entgegengesetzte Vorzeichen. Sind sie positiv, liegt also E hinter F und F^* hinter E^*, so heisst das System ein collectives; es wirkt wie eine Sammellinse und kann reelle Bilder liefern. Im entgegengesetzten Falle nennt man das System dispansiv, weil es wie eine Zerstreuungslinse wirkt und von reellen Objecten nur virtuelle Bilder liefert.

Die Abstände des Objectes von der ersten und des Bildes von der zweiten Hauptebene können, dem Sprachgebrauche bei einfachen

Brechungen gemäss, als conjugirte Vereinigungsweiten bezeichnet werden. Ihre Werthe lassen sich aus dem Vorhergehenden leicht berechnen. Die Umsetzung der Gleichungen (14) und (15), in denen $\xi = E$ und $\xi^* = E^*$, ergiebt

$$N^0 = E + \frac{n^0(1-l)}{k}$$

$$N^* = E^* - \frac{n^*(1-g)}{k} \, .$$

Substituirt man diese Werthe in (13), wo ξ, η und ξ^*, η^* die Coordinaten der conjugirten Vereinigungspuncte P und P^* darstellen, so werden dieselben

$$\left.\begin{aligned} \xi^* &= E^* - \frac{n^*(E-\xi)}{n^0 + k(E-\xi)} \\ \eta^* &= \frac{n^0 \eta}{n^0 + k(E-\xi)} \end{aligned}\right\} \qquad (19)$$

Aus der ersten dieser Relationen erhält man

$$\frac{n^0}{E-\xi} + \frac{n^*}{\xi^* - E^*} = -k$$

oder wenn man $(E-\xi)$ mit p, $(\xi^* - E^*)$ mit p^* und die Brennweiten mit f und f^* bezeichnet, und endlich noch aus (18) die Werthe von $-k$ hinzufügt

$$\frac{n^0}{p} + \frac{n^*}{p^*} = -k = \frac{n^0}{f} = \frac{n^*}{f^*} \qquad (20)$$

Die Analogie mit der Brechung an einer Fläche ist hienach augenfällig.

Die Vergrösserungszahl m, welche das Verhältniss der Ordinaten $\eta^* : \eta$ ausdrückt, nimmt jetzt, in Folge der Ausdrücke in (19) und (20), noch folgende Formen an

$$m = \frac{n^0}{n^0 + kp} = \frac{1}{1 + \frac{k}{n^0} p} = \frac{1}{1 - \frac{p}{f}} = \frac{f}{f-p}$$

$$= \frac{n^* + kp^*}{n^*} = 1 + \frac{k}{n^*} p^* = 1 - \frac{p^*}{f^*} = \frac{f^* - p^*}{f^*} \, .$$

Zur Vervollständigung der Analogieen, welche zwischen der opti- 18
schen Wirkung eines Systems und der Brechung an einer Fläche bestehen, sei hier noch die übereinstimmende Bedeutung der Grösse k für den ersten, und der Grösse u^0 oder u' für den letzteren Fall hervorgehoben. Es lässt sich beweisen, dass die in (20) ausgedrückte Relation, nämlich $k = -\frac{n^0}{f} = -\frac{n^*}{f^*}$, in ganz analoger Weise auch für u^0 und u' besteht und dass, wenn man mit φ und φ' die Brennweiten der ersten, mit φ'' und φ''' die der zweiten brechenden Fläche bezeichnet,

$$u^0 = -\frac{n^0}{\varphi} = -\frac{n'}{\varphi'}$$
$$u' = -\frac{n'}{\varphi''} = -\frac{n''}{\varphi'''}$$

wird. Setzt man nämlich in der Gleichung für die Richtung des Lichtstrahls nach der ersten Brechung $(x - N^0) = \varphi'$, also x gleich der Abscisse des Brennpunctes, und substituirt für β' seinen Werth $\beta^0 + u^0 b^0$, so wird

$$y = \frac{\beta^0 + u^0 b^0}{n'} \varphi' + b^0$$

und da dieser Werth für parallel mit der Axe einfallende Strahlen (für welche $\beta^0 = 0$) Null sein muss, so ergiebt sich

$$u^0 b^0 \frac{\varphi'}{n'} + b^0 = 0 \quad , \quad \text{folglich}$$
$$u^0 = -\frac{n'}{\varphi'} \quad .$$

Ebenso erhält man aus der Gleichung für den einfallenden Strahl, wenn man für β^0 seinen Werth $\beta' - u^0 b^0$ setzt

$$u^0 = -\frac{n^0}{\varphi} \quad .$$

Dass sich in gleicher Weise auch die Beziehungen von u' zu φ'' und φ''' ableiten lassen, ist ohne Weiteres klar.

Die Grössen u^0, u', k sind also sämmtlich gleich $-\frac{n}{f}$, wenn f die vordere oder hintere Brennweite und n der Brechungscoefficient des Mediums ist, in dem sich der Strahl beziehlich vor oder nach der in Betracht kommenden Brechung bewegt. Die durch letztere verursachte Ablenkung ist also dieselbe, welche eine beiderseits an Luft (für welche $n = 1$) grenzende unendlich dünne Linse, deren Brennweite $= f$, veranlassen würde.

19 Die eben angeführten Beziehungen geben uns ein Mittel an die Hand, zwei beliebige Systeme von optischen Cardinalpuncten ebenso leicht zu combiniren, wie zwei brechende Flächen; denn vermöge der mitgetheilten Gleichungen ist es verstattet, alle vorkommenden Brechungen auf unendlich dünne Linsen zurückzuführen und die Grössen u^0 und u', welche in den Formeln für β' und β'' auftreten, den reciproken Brennweiten jener Linsen, negativ genommen, gleich zu setzen.

Sind z. B. E^0 und I^0 die Hauptpuncte einer Linse, deren (berechnete) Brennweite $= f^0$, E' I' die einer andern mit der Brennweite f', so wird vermöge der Eigenschaften der Hauptpuncte ein durch beide hindurch gehender Strahl so gebrochen, als ob in I^0 und

E' unendlich dünne Linsen mit denselben Brennweiten aufgestellt wären. Der Abstand der Puncte I^0 und E' hat also hier dieselbe Bedeutung, wie bei einer einfachen Linse die Grösse $\frac{N^* - N^0}{n'} = t'$. Es folgt diess auch unmittelbar aus den auf die Hauptpuncte bezogenen Gleichungen des Strahls vor und nach der Brechung. Man hat für die Richtung desselben vor der Brechung

$$y = \beta^0 (x - E^0) + b^0 ,$$

nach der ersten Brechung

$$y = \beta' (x - I^0) + b^0 \quad , \text{ oder auf } E' \text{ bezogen}$$
$$y = \beta' (x - E') + b^* ,$$

nach der zweiten Brechung

$$y = \beta^* (x - I') + b^* .$$

Aus den mittleren Gleichungen ergiebt sich, wenn man die Ausdrücke rechter Hand gleich setzt

$$b^* = b^0 + (E' - I^0)\beta' ,$$

während wir oben [Gleichung (4)] gefunden hatten

$$b^* = b^0 + \frac{N^* - N^0}{n'} \beta' .$$

Die Analogie ist hienach augenfällig. Da nun aber ausser der Brechung, von welcher b^* allein abhängig ist, auch die Verschiebung der Strahlen von einer Hauptebene zur andern in Rechnung kommt, so entspricht rücksichtlich der Lage des ausfahrenden Strahls zum einfallenden der erste Hauptpunct E^0 dem vordern, und der letzte I' dem hintern Linsenscheitel. Wenn also im Vorhergehenden E und E^* in ihrer Lage zu N^0 und N^* durch die Gleichungen bestimmt wurden

$$E = N^0 - \frac{1-l}{k} \; , \quad E^* = N^* + \frac{1-g}{k} \; ,$$

so werden die Hauptpuncte des resultirenden Systems, die wir mit $\boldsymbol{E}$ und $\boldsymbol{E}^*$ bezeichnen wollen, gegeben sein durch

$$\boldsymbol{E} = E^0 - \frac{1-l}{k} \; ; \quad \boldsymbol{E}^* = I' + \frac{1-g}{k} \; .$$

Dasselbe gilt natürlich auch für die Brennpuncte. Man hat

$$\boldsymbol{F} = E^0 + \frac{l}{k} \; ; \quad \boldsymbol{F}^* = I' - \frac{g}{k} \; .$$

Zusammenstellung der Resultate.

Es dürfte wohl Manchem, welcher der vorhergehenden analyti- 20
schen Entwicklung nicht gerne folgt, erwünscht sein, wenn wir die wichtigsten Ergebnisse derselben hier übersichtlich zusammenstellen.

Die Grössen, welche in den Formeln zur Bestimmung der Haupt- und Brennpuncte auftreten und selbstverständlich für ein gegebenes System constant bleiben, sind g, l, k. Diese sind ihrerseits wieder abhängig von zwei Reihen anderer Grössen, nämlich u^0, u', u''.... und t', t''...., wobei $\frac{1}{u^0}$ die negativ genommene Brennweite einer unendlich dünnen Linse bezeichnet, welche eine der ersten Brechung aequivalente Ablenkung verursachen würde, und u', u'' dieselbe Bedeutung für die zweite und dritte Brechung haben, während t', t''... die Abstände der eingebildeten aequivalenten Linsen bezeichnen. Es folgt hieraus, dass wenn bei irgend einer Combination bloss zwei Brechungen, sei es an Flächen oder durch eingebildete Linsen, in Betracht kommen, die erste Reihe dieser Grössen auf u^0 und u', die zweite auf t' reducirt wird. Auf diesen einfachen Fall haben wir uns in der vorhergehenden mathematischen Betrachtung beschränkt.

Bezeichnet man nun mit r^0 und r' die Krümmungsradien der vorderen und hinteren Linsenfläche und mit f^0 und f' die Brennweiten von Linsen, deren Wirkung der Brechung an den genannten Flächen gleichkommt, in dem Sinne, dass gleichen Einfallswinkeln gleiche Brechungswinkel entsprechen; bezeichnet man ferner den Brechungscoefficient der Linsensubstanz mit n, so wird — wenn das umgebende Medium Luft ist

$$u^0 = -\frac{1}{f^0} = -\frac{n-1}{r^0}$$

$$u' = -\frac{1}{f'} = -\frac{1-n}{r'} = +\frac{n-1}{r'} .$$

Hierzu ist zu bemerken, dass die Krümmungsradien r^0 und r' positiv oder negativ zu nehmen sind, je nachdem der einfallende Strahl die convexe oder die concave Seite der zugehörigen Fläche trifft. Ist letztere eben, so wird $r = \infty$ und folglich das entsprechende $u = 0$. Ebenso sind die Brennweiten, wo diese in Rechnung gebracht werden, positiv oder negativ zu nehmen, je nachdem die betreffende Brechung sammelnd oder zerstreuend wirkt, also positiv für collective, negativ für dispansive Linsen und Linsensysteme.

Für die Grösse t' erhält man im Fall einer einzelnen Linse, deren Dicke $= d$ gesetzt wird,

$$t' = \frac{d}{n}$$

und bei der Combination zweier Systeme, wenn die Hauptpuncte des ersten durch ihre Abscissen E^0 und I^0, die des zweiten durch E' und I' bezeichnet werden,

$$t' = E' - I^0$$

d. h. t' ist gleich dem Abstand der zugekehrten Hauptpuncte.

Die Operationen, die zur Bestimmung der optischen Cardinal- 21
puncte nothwendig sind, lassen sich jetzt — nachdem u^0, u' und t' als gegeben betrachtet werden dürfen — in tabellarischer Form zusammengestellt leicht übersehen. Man hat

1⁰ für die optischen Constanten

$$g = u^0 t' + 1$$
$$l = u' t' + 1$$
$$k = u^0 u' t' + u^0 + u' = u' g + u^0$$
$$h = t'$$

wobei zur Controle die Gleichung besteht: $gl - hk = 1$;

2⁰ für die Cardinalpuncte

a) zwei brechende Flächen	b) zwei brechende Systeme
$\boldsymbol{E} = N^0 - \frac{1-l}{k}$	$\boldsymbol{E} = E^0 - \frac{1-l}{k}$
$\boldsymbol{E}^* = N^* + \frac{1-g}{k}$	$\boldsymbol{E}^* = I^* + \frac{1-g}{k}$
$\boldsymbol{F} = N^0 + \frac{l}{k}$	$\boldsymbol{F} = E^0 + \frac{l}{k}$
$\boldsymbol{F}^* = N^* - \frac{g}{k}$	$\boldsymbol{F}^* = I^* - \frac{g}{k}$

Hiebei bedeuten die grossen Buchstaben die Abscissenwerthe der entsprechenden Puncte (von einem beliebigen in der Axe gelegenen Ausgangspunct an gerechnet), und zwar N^0 N^* die des ersten und zweiten Linsenscheitels, E^0 I^* die des ersten und letzten der 4 Hauptpuncte, die bei der Combination von zwei Systemen in Betracht kommen, endlich $\boldsymbol{E}\boldsymbol{E}^*$ $\boldsymbol{F}\boldsymbol{F}^*$ die der resultirenden Haupt- und Brennpuncte.

Ist z. B. in einem gegebenen Fall $\frac{l}{k} = -5^{\text{m.m.}}$ und $\frac{g}{k} = -4^{\text{m.m.}}$, so liegt der erste Brennpunct $\boldsymbol{F}$ $5^{\text{m.m.}}$ vor dem ersten und der zweite Brennpunct $\boldsymbol{F}^*$ $4^{\text{m.m.}}$ hinter dem zweiten Linsenscheitel. Ebenso sind auch die übrigen Gleichungen zu verstehen.

III.

Die Cardinalpuncte des Mikroskops.

1. Das Objectiv.

22 Wir wenden uns jetzt zur Bestimmung der Cardinalpuncte eines gegebenen Objectivsystems. Dasselbe bestehe aus drei Doppellinsen und jede der letzteren aus einer planconcaven Flintglaslinse und einer biconvexen, beiderseits gleich gekrümmten Kronglaslinse. Der Brechungscoefficient des Flintglases sei 1,6 und der des Kronglases 1,5. Diess vorausgesetzt ergiebt sich für eine Flintglaslinse, wenn die Dicke d und der Krümmungsradius r' vorläufig unbestimmt gelassen werden,

$$u^0 = 0 \quad , \qquad u' = \frac{3}{5r'} \quad , \qquad t' = \tfrac{5}{8} d \; , \quad \text{und hieraus}$$

$$g = 1 \quad , \qquad k = u' = \frac{3}{5r'} \; , \qquad l = 1 + \tfrac{3}{8} \frac{d}{r'} \; ; \text{ folglich}$$

$$E = N^0 + \tfrac{5}{8} d \; , \quad E^* = N^* \quad , \qquad f^0 = -\tfrac{5}{3} r' \; .$$

Bei einer planconcaven Linse fällt demnach der zweite Hauptpunct mit dem hintern Linsenscheitel zusammen, während der erste um $\frac{d}{n}$ (also hier $= \frac{5}{8} d$) von der ebenen Vorderfläche absteht. Die Brennweite f^0 ist negativ und zwar $= -\frac{1}{u'} = \frac{r'}{n-1}$.

Ebenso erhält man für eine Kronglaslinse, wenn der Krümmungsradius mit r und die Dicke mit d bezeichnet wird,

$$u^0 = u' = -\frac{1}{2r} \quad ; \quad t' = \tfrac{2}{3} d \; ; \quad \text{hieraus}$$

$$g = l = 1 - \frac{d}{3r} \; ; \quad k = \frac{1}{6r^2} (d - 6r) \; ; \quad \text{folglich}$$

$$E = N^0 - \frac{2dr}{d-6r} = N^0 + \frac{2dr}{6r-d}$$

$$E^* = N^* + \frac{2dr}{d-6r} = N^* - \frac{2dr}{6r-d}$$

$$f' = \frac{6r^2}{6r-d} \; .$$

Die Hauptpuncte einer biconvexen (oder auch biconcaven) Linse mit gleichen Krümmungen liegen demnach symmetrisch zu beiden Seiten des optischen Mittelpunctes; die Entfernungen von den beiden Linsenscheiteln sind unter sich gleich. Bei der Kugel, wo $d = 2r$, fallen die Hauptpuncte in das Centrum. Wird d grösser als $2r$, wie bei

Cylinderloupen, so kommt der zweite Hauptpunct vor den ersten zu stehen.

Wir geben jetzt den Grössen r und d bestimmte Werthe, um die 23
erhaltenen Formeln auf die drei Doppellinsen unseres Objectivs anzuwenden. Zur grösseren Bequemlichkeit seien f^0 und f' jedesmal die Brennweiten der zusammengehörigen Flint- und Kronglaslinse, d^0 und d' ihre Dicke und e^0 i^0 e' i' ihre Hauptpuncte, ferner φ^0 φ' und φ'' die Brennweite der ersten, zweiten und dritten Doppellinse und E^0 I^0 E' I' E'' I'' deren Hauptpuncte, endlich N^0 N^1 $N^2 \dots N^8$ die auf einander folgenden Linsenscheitel. Bei der Combination der Flint- und Kronglaslinsen wird alsdann $t' (= e' - i^0)$ gleich dem Abstand des Punctes e' von der Berührungsfläche, $u^0 = -\frac{1}{f^0}$ und $u' = -\frac{1}{f'}$. Da die Rechnung sehr leicht ist, so mag es genügen, nachstehend die Resultate zusammenzustellen.

Erste Doppellinse. Sei $r = 1$, $d^0 = \frac{1}{2}$, $d' = 1$; dann wird: $e^0 = N^0 + \frac{5}{16}$, $i^0 = N'$, $e' = N' + \frac{2}{5}$, $i' = N^2 - \frac{2}{5}$, $f^0 = -\frac{5}{3}$, $f' = \frac{6}{5}$. Hieraus ergiebt sich:

$$E^0 = e^0 + \tfrac{10}{13} = N^0 + \left(\tfrac{5}{16} + \tfrac{10}{13}\right) = N^0 + 1{,}08173$$
$$I^0 = i' + \tfrac{180}{325} = N^2 + \tfrac{180}{325} - \tfrac{2}{5} = N^2 + 0{,}153846$$
$$\varphi^0 = \tfrac{30}{13} = 2{,}3077.$$

Zweite Doppellinse. Sei $r = 4$, $d^0 = \frac{2}{3}$, $d' = \frac{4}{3}$; dann wird: $e^0 = N^3 + \frac{5}{12}$, $i^0 = N^4$, $e' = N^4 + \frac{72}{153}$; $i' = N^5 - \frac{72}{153}$, $f^0 = -6\frac{2}{3}$, $f' = 4\frac{1}{18}$. Hieraus erhält man:

$$E' = e^0 + 1{,}01803 = N^3 + 1{,}43469$$
$$I' = i' + 0{,}6193 = N^5 + 0{,}1487$$
$$\varphi' = 8{,}77347.$$

Dritte Doppellinse. Sei $r = 10$, $d^0 = \frac{3}{4}$, $d' = \frac{3}{2}$; dann wird: $e^0 = N^6 + \frac{15}{32}$, $i^0 = N^7$, $e' = N^7 + \frac{10}{19}$, $i' = N^8 - \frac{10}{19}$, $f^0 = -16\frac{2}{3}$, $f' = 10\frac{10}{39}$. Hieraus

$$E'' = e^0 + 1{,}23456 = N^6 + 1{,}70331$$
$$I'' = i' + 0{,}7732 = N^8 + 0{,}2469$$
$$\varphi'' = 24{,}6913.$$

Da nun die zweite und dritte Doppellinse zur Erzielung schwä- 24
cherer Vergrösserungen auch ohne die erste benutzt werden, so erscheint es zweckmässig, vorerst jene beiden zu combiniren und deren Gesammtwirkung als Objectiv etwas näher zu verfolgen. Wir machen zu diesem Ende die weitere Annahme, die zugekehrten Linsenflächen

stehen um 0,1487 von einander ab, so dass die Grösse t' (der Abstand der zugekehrten Hauptpuncte I' und E'') in diesem Fall $= 1,70331$ wird, während u^0 und u', wie gewöhnlich, den reciproken Werthen der bezüglichen Brennweiten, nämlich $-\frac{1}{q'}$ und $-\frac{1}{q''}$, gleich zu setzen sind. Für die Abscissen der resultirenden Haupt- und Brennpuncte, die wir mit (E) (E^*) und (F) (F^*) bezeichnen, erhält man alsdann

$$\begin{aligned}(E) &= E' + 0,470468 = N^3 + 1,905158\\ (E^*) &= I'' - 1,32419 = N^3 + 3,32143\\ (F) &= (E) - 6,82064 = N^3 - 4,91548\\ (F^*) &= (E^*) + 6,82064 = N^8 + 5,74437\ .\end{aligned}$$

Die Brennweite (f) des Objectivs ist also $= 6,8$ und der Abstand des Brennpunctes (F) von der Vorderfläche desselben $= 4,91548$. Soll nun das physische Bild im Mikroskop in einer Entfernung von $p^* = 200^{\text{m.m.}}$ zu Stande kommen, wie diess annähernd bei den meisten neueren Instrumenten der Fall ist, so kann der Abstand p des Objectes von der ersten Hauptebene aus der Relation

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p^*} = \frac{1}{f}$$

leicht bestimmt werden. Man findet $p = 7,06146^{\text{m.m.}}$, folglich $p - f = 0,24$. Als Vergrösserungszahl ergiebt sich

$$m = \frac{f}{f-p} = -28,3\ .$$

Das negative Vorzeichen deutet, wie bereits erwähnt, auf die verkehrte Lage des Bildes. — Die Gesammtvergrösserung des Mikroskops hängt natürlich mit von der Wirkung des Oculars ab, welche weiter unten näher besprochen werden soll.

25 Fügen wir jetzt, um das Objectiv zu vervollständigen, noch die erste und stärkste Doppellinse hinzu und wählen wir auch hier den Abstand so, dass die hintere Hauptebene mit der Vorderfläche der zweiten Linse zusammenfällt, so wird für diese Combination

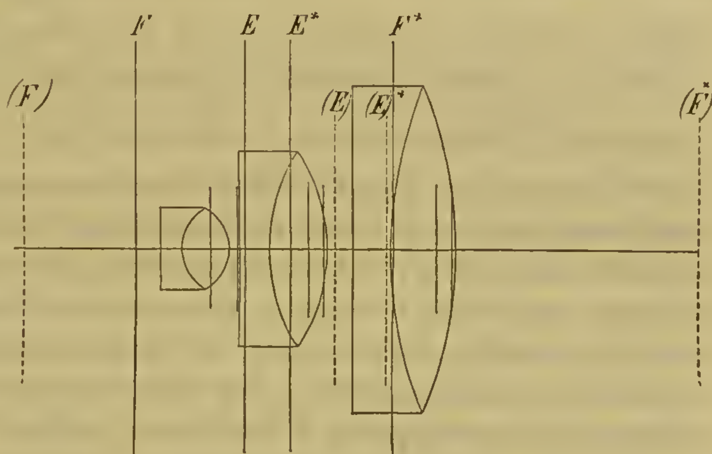
$$\begin{aligned}u^0 &= -\frac{1}{q^0} = -0,43333\ldots,\\ u' &= -\frac{1}{(f)} = -\frac{1}{6,8206} = -0,1466137 \quad\text{und}\\ t' &= 1,905158,\end{aligned}$$

und die Durchführung der Rechnung ergiebt als Abscissenwerthe der Haupt- und Brennpuncte, die wir E und E^*, F und F^* nennen wollen:

$$E = E^0 + 0,609039 = N^0 + 1,6907697$$
$$E^* = (E^*) - 1,80008 = N^0 + 3,175196$$
$$F = E - 2,18042 = N^0 - 0,48965$$
$$F^* = E^* + 2,18042 = N^8 - 0,69656\ .$$

Hienach beträgt also die Brennweite bloss 2,18 und der Abstand des Brennpunctes von der Vorderfläche 0,49 Längeneinheiten. Die Objectdistanz sinkt bei einer Tubuslänge von c. 200 auf 0,5 herunter.

Zur Versinnlichung dieser Zahlenverhältnisse ist in Fig. 7 das vorausgesetzte Objectivsystem mit seinen Haupt- und Brennebenen bei 5maliger Vergrösserung (der Millimeter als Einheit gedacht) dargestellt. Durch punctirte Linien wurden ausserdem die Cardinalebenen (F) (E) (E^*) (F^*) der beiden hintern Linsen und durch kürzere ausgezogene die Hauptebenen der einzelnen Doppellinsen angedeutet.



Figur 7.

Die Objectdistanz ist, wie man leicht einsieht, eine vom 26
Focalabstand abhängige Grösse; sie nimmt — ceteris paribus — mit dem letzteren ab und zu, und wird demselben bei den stärksten Objectiven nahezu gleich. Mit der Brennweite des Objectivs und der davon abhängigen Vergrösserungszahl steht sie dagegen nicht in unmittelbarem Zusammenhang, und es ist bekannt, dass Instrumente aus verschiedenen Werkstätten rücksichtlich der Objectdistanz bei übrigens gleicher Stärke oft beträchtlich differiren. Die Frage, welche Umstände auf diese Grösse von Einfluss seien, ist daher nicht ohne praktisches Interesse. Sie lässt sich nach dem Vorhergehenden leicht beantworten, wenn man aus den Formeln für die Cardinalpuncte des Systems den Focalabstand $(N^0 - F)$ bestimmt und für die Grössen l und k ihre Werthe einsetzt. Ist f (wie bisher) die Brennweite des ganzen Objectivs, φ^0 die der ersten Doppellinse und (f) die der beiden übrigen zum System verbundenen Linsen, so hat man

$$f = -\frac{1}{k} = -\frac{1}{u^0 u' t' + u^0 + u'} = \frac{q_0 (f)}{q_0 + (f) - t'} ,$$

und ebenso erhält man für den ersten Hauptpunct

$$E = E^0 + \frac{l-1}{k} = E^0 + \frac{u' t'}{u^0 u' t' + u^0 + u'} = E^0 + \frac{t' q^0}{q^0 + (f) - t'}$$

Die Subtraction dieses letztern Werthes vom ersten für die Brennweite ergiebt als Focalabstand

$$N^0 - F = \frac{q^0[(f) - t']}{q^0 + (f) - t'} - E^0 = \frac{q^0}{1 + \frac{q^0}{(f) - t'}} - E^0 .$$

Werden die Linsen und folglich auch ihre Hauptpuncte und Brennweiten als gegeben betrachtet, so erreicht offenbar $N^0 - F$ einen um so grössern Werth, je kleiner t', denn der Nenner $1 + \frac{q^0}{(f) - t'}$ nimmt mit t' ab und zu. Der Focalabstand ist also am grössten, wenn t' möglichst klein, d. h. wenn die erste Linse der zweiten so viel als thunlich genähert wird. Diese Annäherung, die natürlich in der Berührung der beiden Linsen ihre Grenze findet, bedingt zugleich eine Verkleinerung der Brennweite, weil der für letztere gefundene Ausdruck mit t' steigt und fällt. Das Zusammenschieben der Linsen gewährt also einen doppelten Vortheil: eine stärkere Vergrösserung und trotzdem einen grösseren Focalabstand. Und zwar gilt diess nicht bloss für die erste und zweite Linse, sondern auch für die zweite und dritte; denn da die eben entwickelten Formeln für zwei beliebige Systeme von Cardinalpuncten Geltung haben, so müsste die Combination der dritten Linse mit den beiden vordern rücksichtlich der hier auftretenden Grösse t' zu denselben Folgerungen führen. Es geht diess auch aus der Formel für die Brennweite, auf (f) angewendet, hervor. Dieselbe wird um so kleiner, je geringer die Entfernung der betreffenden Hauptpuncte (hier I' und E''). Der kleinste Werth von (f) entspricht aber, wie ein Blick auf den Werth von $N^0 - F$ zeigt, der grössten Objectdistanz (wobei freilich die erlaubte Voraussetzung gemacht ist, dass $(f) > t'$).

Es ist einleuchtend, dass die besprochene Annäherung der zugekehrten Hauptpuncte auf jede Combination von brechenden Vorrichtungen, und daher auch auf die einzelnen Kron- und Flintglaslinsen, sich ausdehnen lässt. Da nun bei letztern der Abstand der Hauptpuncte von der Berührungsfläche mit der Dicke zu- und abnimmt, so folgt daraus, dass behufs Vergrösserung des Focalabstandes die Flint- und Kronglaslinsen möglichst dünn gemacht werden müssen, wodurch dann zugleich eine stärkere Vergrösserung erzielt wird.

Der Focalabstand und mit ihm die Objectdistanz wird also unter übrigens gleichen Umständen um so grösser, je geringer die Abstände der brechenden Flächen.

Damit ist indessen nicht gesagt, dass die Summe der Abstände maassgebend sei; es versteht sich vielmehr von selbst, dass die stärkeren Linsen auch in dieser Beziehung vorzugsweise ins Gewicht fallen.

Die Brechungscoefficienten des Flint- und Kronglases wurden 27
im Vorhergehenden zu 1,6 und 1,5 angenommen. Dass eine Aenderung dieser Zahlen nicht ohne Einfluss auf die Lage der optischen Cardinalpuncte sein kann, ist von vorn herein einleuchtend, und es hält auch nicht schwer, sich im Allgemeinen die Wirkung der Zu- oder Abnahme klar zu machen. Eine Vergrösserung der Brechungscoefficienten verstärkt natürlich, wenn das Verhältniss zwischen Kron- und Flintglas dasselbe bleibt, und noch mehr, wenn bloss das Kronglas veränderlich gedacht wird, die optische Wirkung der einzelnen Linsen und setzt dem entsprechend bei gleichem Effect schwächere Krümmungen voraus. Sie wirkt also gleichsam, wie eine Annäherung der brechenden Flächen, indem sie das Verhältniss der Linsendicke zu den Krümmungsradien oder zur optischen Wirkung verkleinert. Bei gleicher Stärke des Objectivs wird also der Focalabstand ceteris paribus um so beträchtlicher, je grösser der Brechungscoefficient der Linsensubstanz; bei gleichen Krümmungen nimmt die Vergrösserungszahl mit dem Brechungscoefficienten zu, während die Objectdistanz je nach Umständen zu- oder abnimmt.

Betreffend die Maassbestimmung dieser Einflüsse, sind in nachstehender Uebersicht, um wenigstens einige Anhaltspuncte zu bieten, die wichtigsten Elemente unseres Objectivsystems für die in den beiden ersten Columnen angegebenen Fälle zusammengestellt. Die Form der Linsen und der Brechungscoefficient des Flintglases (1,6) wurden dabei als constant betrachtet, die Entfernungen e_1 und e_2 der Doppellinsen dagegen (e_1 zwischen der vorderen und mittleren, e_2 zwischen dieser und der letzten), so wie ferner die Brechungscoefficienten n_1 n_2 und n_3 der Kronglaslinsen als variabel. Wir werden in der Folge von den hier erwähnten Combinationen diejenige auswählen, welche zur Beseitigung der Aberrationen am geeignetsten erscheint.

Gegeben.	e_1	Brennweite.	Focalabstand.	Objectdistanz.	$E^* - E$	Vergrösserung.
$e_2 = 0,1487$, $n_1 = n_2 = n_3 = 1,50$	0,1538	2,1804	0,4896	0,51379	1,48442	90,725
	1,0000	2,4682	0,3908	0,4220	0,80137	80,0297
$e_2 = 0,50$, $n_1 = 1,50$, $n_2 = n_3 = 1,52$	0,1538	2,2469	0,4719	0,50026	0,99712	88,0096
	1,0000	2,5528	0,3692	0,4022	0,21753	77,3452
$e_2 = 0,50$, $n_1 = n_2 = n_3 = 1,52$	0,1538	2,1469	0,4271	0,453	0,94787	92,1555
	1,0000	2,4522	0,3346	0,368	0,1179	80,5594

2. Das Ocular.

28 Die Oculare haben zunächst den Zweck, die divergenten Strahlenbündel, welche das reelle Objectivbild erzeugen, so zu lenken, dass die Pupille des beobachtenden Auges sie sämmtlich aufzufangen vermag. Sie haben überdiess der selbstverständlichen Anforderung zu genügen, von dem ihnen als Object gebotenen Luftbilde unter den gegebenen Verhältnissen ein möglichst vollkommenes virtuelles Bild zu entwerfen. Es ist nun ohne Weiteres klar, dass eine einzelne Linse diese letztere Bedingung nur für das Centrum des Gesichtsfeldes in befriedigender Weise erfüllt, für die peripherischen Puncte dagegen, weil die von hier ausgehenden Strahlenbündel den Rand der Linse durchsetzen, eine störende Farbenabweichung hervorruft. Aus diesem Grunde werden die Oculare der neueren Mikroskope in der Regel aus zwei Linsen zusammengesetzt, welche in gemeinsamer Fassung so angebracht sind, dass ihre Aberrationen sich gegenseitig nahezu aufheben. Die Combination dieser Linsen lässt in optischer Hinsicht einige Modificationen zu, von denen wir folgende hervorheben.

a. Das Campanische Ocular.

29 Das sogenannte Campanische Ocular besteht bekanntlich aus zwei einfachen Planconvexlinsen, wovon die untere als Collectiv-, die obere als Ocularglas bezeichnet wird. Jenes fängt die vom Objectiv kommenden convergirenden Strahlen auf, ehe sie sich zum Bilde vereinigt haben; es bewirkt das Zustandekommen des

letzteren innerhalb der Brennweite der Ocularlinse, so dass es durch diese wie durch eine Loupe betrachtet werden kann.

Für die mathematische Betrachtung des Oculars ist es vollkommen gleichgültig, in welcher Weise dasselbe mit dem Objectiv combinirt wird. Man kann z. B. zunächst das Collectiv in Rechnung bringen und hierauf die Ocularlinse mit dem resultirenden System verbinden, oder umgekehrt zuerst die Wirkung des ganzen Oculars bestimmen und dann erst die Combination mit dem Objectiv vornehmen. Wir wählen das Letztere.

Seien die Brennweiten der Collectiv- und Ocularlinse beziehlich 40 und $30^{\text{m.m.}}$, ihre Dicke 3 und $2^{\text{m.m.}}$ Bezeichnet man nun mit $E^0\ I^0$ und $E'\ I'$ die beiden Paare von Hauptpuncten und mit $N^0\ N^1\ N^2\ N^3$ die Scheitel der brechenden Flächen in ihrer Reihenfolge von unten nach oben, so erhält man, wenn der Brechungscoefficient der Linsen zu 1,5 und der gegenseitige Abstand derselben zu $43^{\text{m.m.}}$ angenommen wird,

$$E^0 = N^0 \quad , \quad I^0 = N^0 + 1 \ ;$$
$$E' = N^2 \quad , \quad I' = N^2 + \tfrac{2}{3} \ , \text{ folglich}$$
$$t' = E' - I^0 = 45$$

und hieraus für die resultirenden Haupt- und Brennpuncte $E E^*\ F F^*$

$$E = E^0 + 72 = N^3 + 24 \ ; \quad E^* = I' - 54 = N^3 - 55\tfrac{1}{3}$$
$$F = N^3 - 24 \ ; \qquad F^* = N^3 + 7\tfrac{1}{3}$$
$$E - F = F^* - E^* = 48 \ .$$

Mit Rücksicht auf dieses System von Cardinalpuncten, welche 30
das Ocular als Ganzes repräsentiren, ist natürlich nicht das wirklich zu Stande kommende physische Bild, sondern dasjenige, welches das Objectiv für sich allein (ohne Mitwirkung der Collectivlinse) entwerfen würde, als Object zu betrachten und zwar als ein virtuelles, weil es hinter die erste brechende Fläche des Systems fällt. Seine Lage ist durch das schliessliche virtuelle Bild der Ocularlinse bestimmt, welches für jeden Beobachter um die Weite des deutlichen Sehens vom Auge absteht; sie muss also, da die Sehweite keine bestimmte Grösse ist, für jedes Auge eine andere sein. Nehmen wir, um eine bestimmte Vorstellung zu haben, an, das virtuelle Bild falle in eine Ebene, deren Entfernung von der letzten Fläche des Oculars $200^{\text{m.m.}}$ beträgt, wonach also die Vereinigungsweite $p^* = 144\frac{2}{3}{}^{\text{m.m.}}$ zu setzen ist, so erhält man als conjugirten Werth $p = 36{,}041^{\text{m.m.}}$

Das reelle Bild des Objectivs müsste hienach in einem Abstand von $12{,}041^{\text{m.m.}}$ von der letzten Fläche des Oculars zu Stande kommen, um von dem beobachtenden Auge in der angenommenen Ent-

fernung von 200 m.m. gesehen zu werden. Die Ocularvergrösserung m', die unter diesen Umständen hervorgebracht wird, ist gegeben durch

$$m' = \frac{f}{f-p} = 4{,}01 \quad .$$

Hat nun das Mikroskoprohr eine solche Länge, dass die oben zu 200 m.m. angenommene hintere Vereinigungsweite des Objectivs der eben bezeichneten Lage des Objectivbildes zum Ocular entspricht, so ist, wie leicht einzusehen, die Gesammtvergrösserung des Mikroskops das m' fache der oben gefundenen Objectivvergrösserung. Für jede andere Länge des Mikroskoprohrs dagegen muss vorerst die dem Ocular entsprechende hintere Vereinigungsweite p^* des Objectivs berechnet und hienach die Vergrösserungszahl reducirt werden. Ist z. B. die letzte Fläche des Oculars 200 m.m. von der ersten des Objectivs entfernt und der zweite Hauptpunct des letzteren in einem Abstand von 2,4011 von der Vorderfläche, so erhält man für p^* den Werth $200 - (12{,}041 + 2{,}4011) = 185{,}558$ und hieraus eine Objectivvergrösserung $m = 1 - \frac{p^*}{f} = 81{,}584$, welche letztere Ziffer, mit 4,01 multiplicirt, die Gesammtvergrösserung des Mikroskops giebt.

31 Die Gesammtvergrösserung eines Mikroskops ist keine bestimmte Zahl, die sich ein für alle Mal feststellen liesse. Sie hängt von der Sehweite des beobachtenden Auges ab und kann daher, weil das letztere innerhalb gewisser Grenzen accommodationsfähig ist, nicht einmal für denselben Beobachter als eine constante Grösse betrachtet werden. Namentlich erleidet die Ocularvergrösserung sehr bedeutende Schwankungen. Die Ziffer 4,01, welche einer Sehweite von 200 m.m. entspricht, sinkt z. B. für ein kurzsichtiges Auge von 100 m.m. Sehweite auf 1,93 herunter. Aber auch die Objectivvergrösserung bleibt nicht ganz constant, da mit der Sehweite auch die Lage des reellen Bildes und dadurch das Verhältniss der vorderen zur hinteren Vereinigungsweite sich ändert. Der Kurzsichtige bringt das Objectivbild der Ocularlinse näher, um dadurch auch das schliessliche virtuelle Bild näher zu rücken; er vergrössert also die hintere Vereinigungsweite des Objectivs und verkleinert in Folge dessen die vordere. Die Objectivvergrösserung wird demnach verstärkt, während die Ocularvergrösserung geschwächt wird. Da jedoch das Letztere in weit höherem Grade stattfindet, so ist das schliessliche virtuelle Bild um so kleiner, die Gesammtvergrösserung folglich um so geringer, je kürzer die Sehweite. Zur Vergleichung sind nachstehend die Vergrösserungszahlen für verschiedene Sehweiten zusammengestellt. Die Tubuslänge von

der ersten bis zur letzten brechenden Fläche wurde dabei zu $200^{\text{m.m.}}$ und die Objectivvergrösserung für den Fall, dass $p^* = 200^{\text{m.m.}}$, zu 88,0096 angenommen (siehe die Tabelle auf pag. 28).

Sehweite.	p^*	Objectiv-vergrösserung.	Ocular-vergrösserung.	Gesammt-vergrösserung.
200	185,558	81,584	4,01	327,152
150	194,551	85,586	2,97	254,19
100	198,462	86,921	1,93	167,75

Aus dieser Zusammenstellung geht zunächst hervor, dass die Ocularvergrösserung zur Sehweite in annähernd proportionalem Verhältniss steht, während die Objectivvergrösserung geringe Schwankungen im umgekehrten Sinne zeigt. Daraus folgt natürlich, dass auch die Gesammtvergrösserung mit der Sehweite steigt und fällt; allein die mathematische Beziehung ist damit noch keineswegs gegeben, und ein Blick auf die letzte Columne genügt, um sich zu überzeugen, dass das Verhältniss der Vergrösserungsziffern um mehrere Einheiten von dem der Sehweiten abweicht. Es wäre nun eine Sache der Rechnung, zu untersuchen, ob und in welchem Grade diese Abweichungen noch fortbestehen, wenn statt der letzten Fläche des Oculars ein nahe liegender Punct der Axe, welcher ungefähr der Lage des Auges während der Beobachtung entspricht, als Ausgangspunct bei Bestimmung der Sehweiten gewählt würde. Auf diese Weise könnte durch arithmetische Beispiele gezeigt werden, in wie weit die von verschiedenen Beobachtern gefundenen Vergrösserungsziffern differiren können, wenn die Reduction auf die nämliche conventionelle Sehweite durch eine einfache Proportion geschieht.

Wir halten es indess für zweckmässiger, die Frage einer mehr 32
mathematischen Betrachtung zu unterziehen, indem wir die Wirkung des Objectivs und des Oculars auf ein einziges System von Cardinalpuncten zurückführen. Da die Combination genau in derselben Weise geschieht, wie bisher, so mag es genügen, wenn wir hier bloss die Ergebnisse der Rechnung zusammenstellen. Wir bezeichnen die neuen Hauptpuncte mit E^0 und E^*, die Brennpuncte mit F^0 und F^* und die erste und letzte brechende Fläche des Mikroskops, deren Abstand $200^{\text{m.m.}}$ betragen soll, beziehlich mit N^0 und N^*. Dann ist

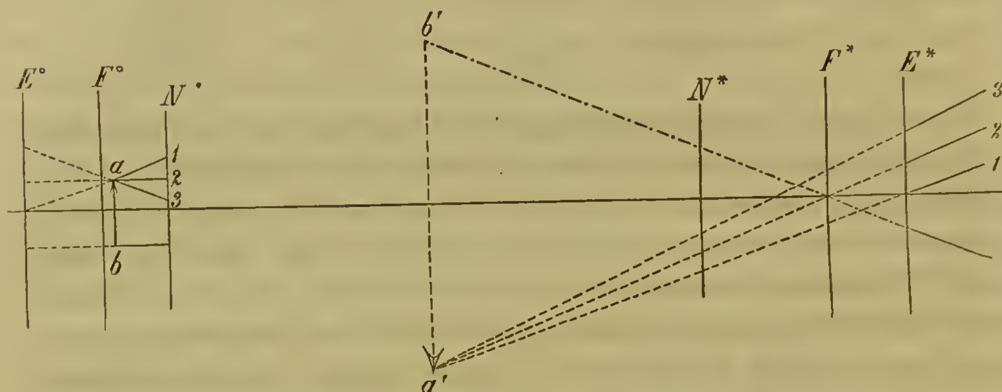
$$E^0 = N^0 - 1,1283 \qquad E^* = N^* + 6,727$$

$$F^0 = N^0 - 0,5174 \qquad F^* = N^* + 6,116$$

$$\text{Brennweite} = 0,611\ .$$

Das resultirende System stellt sich also, wie zu erwarten war, als ein dispansives heraus, d. h. es liefert von reellen Objecten nur virtuelle Bilder. Die Brennpuncte stehen nämlich (im Gegensatz zu allen früheren Combinationen) weniger weit von einander ab als die zugehörigen Hauptpuncte.

Wie bei einem solchen System die letzten Wege der Strahlen zu construiren sind, ist in Figur 8 veranschaulicht; *ab* ist das Object,



Figur 8.

a' b' das virtuelle Bild. Die beiderseits mit 1, 2, 3 bezeichneten Linien entsprechen sich; sie schneiden die Hauptebenen E^0 und E^* in gleichen Abständen von der optischen Axe und sind in ihrer Richtung durch die bekannten Brechungsgesetze bestimmt.

Ist nun p^* der Abstand des Bildes von der zweiten Hauptebene und f die Brennweite, so ist die Vergrösserungsziffer durch die allgemeingültige Formel $m = 1 - \frac{p^*}{f}$ gegeben, wobei das negative Vorzeichen auf die Umkehrung des Bildes deutet. Betrachtet man m als positiv, so wird dieser Ausdruck

$$m = \frac{p^*}{f} - 1 = \frac{p^* - f}{f},$$

aus welcher letzteren Formel sich ohne Weiteres folgende Beziehung ableiten lässt:

Befindet sich das beobachtende Auge im zweiten Brennpunct des Mikroskops, so dass die Sehweite durch $p^* - f$ ausgedrückt wird, so ist die Vergrösserungsziffer dieser Sehweite genau proportional. Mit andern Worten: die virtuellen Bilder, welche das Mikroskop bei verschiedenen Einstellungen (für kurzsichtige und weitsichtige Augen) entwirft, werden vom zweiten Brennpunct aus unter dem nämlichen Winkel gesehen und müssen sich demnach vollkommen decken.

33 Die Gesammtwirkung des Mikroskops ist im Vorhergehenden

vollständig festgestellt. Es bleibt uns jetzt noch übrig, den wirklichen Gang der Lichtstrahlen im Oculareinsatz und nach dem Austritt aus der Ocularlinse zu verfolgen. Da das Objectivbild, welches für das Ocular das virtuelle Object darstellt, bei einer Schweite von 200 m.m. in einer Entfernung von 12,041 m.m. von der ebenen Fläche der Ocularlinse gedacht werden muss, so lässt sich die Lage des vom Collectiv entworfenen physischen Bildes leicht berechnen. Ist die Brennweite desselben, wie oben angenommen, 40 m.m., so erhält man aus dem gegebenen Abstand des virtuellen Objectes (= 49 — 12,041 = 35,959) eine conjugirte Vereinigungsweite von 18,936 m.m. Diess ist die Entfernung, vom zweiten Hauptpunct des Collectivs an gerechnet, in welcher das wahre Bild wirklich zu Stande kommt und in welcher daher auch das sogenannte Diaphragma und das Ocularmikrometer angebracht sein müssen, um vom Beobachter mit gleicher Schärfe, wie das Bild, gesehen zu werden.

Die Lichtkegel, welche das Objectiv verlassen, stehen mit ihrer Basis auf der zweiten Hauptebene desselben; ihre Neigung gegen die Axe ist durch die Richtungsstrahlen bestimmt, welche von den entsprechenden Puncten des Objectes ausgehen und als Axen der Lichtkegel betrachtet werden können. Da nun diese Axen sämmtlich von einem Puncte, nämlich vom zweiten Hauptpunct des Objectivs, ausgehen, so müssen sie sich nach der Brechung im Ocular auch in einem Puncte schneiden, und zwar ist dieser letztere Punct das Bild des ersteren. Seine Lage ist für die Collectivlinse allein durch die bekannte Relation bestimmt: $\frac{1}{p} + \frac{1}{p^*} = \frac{1}{f}$, wobei p laut früheren Annahmen über die Tubuslänge und die Lage der in Betracht kommenden Hauptpuncte $= 200 - (48 + 2{,}4011) = 149{,}5989$ und $f = 40$ m.m. beträgt. Man erhält $p^* = 54{,}598$ m.m. und indem man den hierdurch bestimmten Punct als virtuelles Object der Ocularlinse betrachtet, ergiebt die Rechnung als Abscissenwerth des schliesslichen reellen Bildpunctes $N^* + 5{,}938$, wobei N^* die letzte brechende Fläche des Oculars.

Die Axen der Lichtbündel, welche den verschiedenen Puncten des Objectes entsprechen, schneiden sich also sämmtlich in einem Puncte, welcher c. 6 m.m. über der Ocularlinse liegt. Man kann diesen Punct den Augenpunct nennen. Eine in ihm senkrecht zur Axe errichtete Ebene wird von jedem einzelnen Lichtkegel im Allgemeinen in einer Ellipse, von allen zusammen dagegen in einem Kreise geschnitten, dessen Durchmesser bei gegebenen optischen Constanten vom Oeffnungswinkel des Mikroskops abhängt. Ist der

letztere z. B. 60^0, so wird der erstere etwas grösser als $\frac{1}{2}$ m.m.; beide nehmen gleichzeitig zu und ab. Da nun die Pupille des beobachtenden Auges einen beträchtlich grösseren Durchmesser besitzt, so leuchtet ein, dass dieselbe nicht nothwendig in den Augenpunct, sondern bloss in dessen Nähe gebracht werden muss, um sämmtliche Strahlen der austretenden Lichtkegel auf die Netzhaut gelangen zu lassen.

34 Der Augenpunct eines Mikroskops ist gewissermaassen zum Voraus gegeben; er muss stets eine solche Lage haben, dass wenn der Beobachter sein Auge in die gewohnte Entfernung von der Ocularlinse bringt, alle ausfahrenden Strahlen zum schliesslichen virtuellen Bilde beitragen, so dass das ganze Gesichtsfeld gleichmässig beleuchtet erscheint. Die Brennweite der Collectivlinse muss also jedenfalls so gewählt werden, dass der Bildpunct, welcher dem zweiten Hauptpunct des Objectivs entspricht, wenigstens 10—20 m.m. über die Ocularlinse zu liegen kommt; denn da die letztere die Convergenz der Strahlen noch verstärkt, so ist der Abstand des genannten Bildpunctes stets etwas grösser als der des Augenpunctes.

35 An der Stelle, wo das Objectivbild unter Mitwirkung der Collectivlinse wirklich zu Stande kommt, wird bekanntlich ein Diaphragma mit kreisförmiger centraler Oeffnung angebracht. Dasselbe bildet gleichsam den Rahmen des Objectivbildes und bestimmt also mit der Ocularlinse die Grösse des Gesichtsfeldes. Der Durchmesser des letzteren ist gleich dem Durchmesser der Diaphragma-Oeffnung, multiplicirt mit der Vergrösserungszahl der Ocularlinse, welche je nach Lage und Sehweite des Auges einen andern Werth annimmt.

b. Das Ramsden'sche Ocular.

36 Fast alle neueren Mikroskope sind mit dem besprochenen Campani'schen Oculare, da es allgemein als das passendste für ein aplanatisches Mikroskop gilt, ausgestattet. Unter besonderen Umständen jedoch werden auch andere Einrichtungen des Oculars, worunter diejenige von Ramsden die bekannteste ist, mit Vortheil angewandt.

Das Ramsden'sche Ocular besteht aus zwei planconvexen Linsen, deren gewölbte Flächen einander zugekehrt sind. Die Entfernung derselben ist so klein, dass sie zusammen wie ein Doublet wirken, dessen vergrössernde Kraft einer einzigen stärker gekrümmten Linse gleichkommt. Dem entsprechend muss das Object so eingestellt werden, dass das Objectivbild in geringer Entfernung vor dem untersten Glase, also zwischen diesem und dem Objectiv, zu Stande kommt.

Der Gang der Lichtstrahlen durch ein solches Doublet lässt sich

bei gegebenen Abständen und Krümmungen der brechenden Flächen genau in derselben Weise ermitteln, wie beim Campani'schen Ocular. Werden z. B. die nämlichen zwei Linsen, die wir im Vorhergehenden als Collectiv- und Ocularglas vorausgesetzt haben, nach Ramsden'schem Princip combinirt, und beträgt der Abstand der zugekehrten Hauptpuncte 20 m.m., so erhält man für die Brennweite des Systems 24m.m. und für die beiden Hauptpuncte $E = N^0 + 18$ und $E^* = N^0 + 11$, wobei N^0 die erste brechende Fläche des Oculars bezeichnet. Der zweite Hauptpunct liegt also 7m.m. vor dem ersten. — Es versteht sich übrigens auch hier von selbst, dass der Optiker darauf zu sehen hat, den Augenpunct durch richtige Wahl der Brennweiten in eine für die Beobachtung bequeme Lage zu bringen.

Die Vereinigung zweier Linsen zur Loupe, wie wir sie in der Einrichtung von Ramsden verwirklicht sehen, gewährt den Vortheil, dass das Objectivbild nicht erst verkleinert, vielmehr durch jede der beiden Linsen vergrössert wird. Das schliessliche virtuelle Bild (von der Blendung als Rahmen umschlossen) erscheint daher, wenn man Linsen mit denselben Krümmungen und Oeffnungen voraussetzt, wie oben beim Campani'schen Ocular, beträchtlich grösser als bei diesem letzteren, d. h. mit andern Worten: das Ocular von Ramsden giebt unter übrigens gleichen Umständen ein grösseres Gesichtsfeld. Es gestattet überdem eine beinahe vollkommene Ebenung des Gesichtsfeldes*) und eignet sich daher besonders zu Messungen mit dem Ocularmikrometer, indem die Vergrösserung von der Mitte bis zum Rande sehr annähernd dieselbe bleibt.

Diesen Vorzügen steht nun allerdings ein kleiner Nachtheil gegenüber. Der Umstand, dass das Objectivbild der Oberfläche der unteren Linse sehr nahe liegt, hat nämlich die unangenehme Folge, dass die geringsten Fehler der Politur, kleine Risse, Stäubchen etc. auch im Gesichtsfelde auftreten und dadurch die Klarheit des Bildes beeinträchtigen. Wir haben indess nicht gefunden, dass dieser Uebelstand bei einem auch nur mit der gewöhnlichsten Sorgfalt gereinigten Ocular wirklich störend sei. Jedenfalls ist derselbe nicht hoch anzuschlagen. Alles wohl erwogen, wüssten wir in der That nicht, warum das Ramsden'sche Ocular nicht in jedem beliebigen Falle ein Campani'sches ersetzen könnte.

*) Die Ebenung des Gesichtsfeldes werden wir weiterhin eingehend erörtern. Vorläufig sei nur bemerkt, dass die Angaben Harting's über diesen Punct zum Theil unrichtig sind, und dass er in Folge dessen dem Ramsden'schen Ocular Mängel zuschreibt, die es in Wirklichkeit nicht hat.

c. Das aplanatische und das orthoskopische Ocular.

37 In den Preisverzeichnissen einiger Optiker figuriren ausser dem gewöhnlichen Campani'schen auch aplanatische und orthoskopische Oculare, welche durch eine vollkommenere Ebenung des Gesichtsfeldes sich auszeichnen sollen. Von diesen Ocularen ist uns nur das aplanatische von Plössl näher bekannt. Dasselbe unterscheidet sich vom gewöhnlichen Ramsden'schen Ocular eigentlich bloss durch die aplanatischen Linsen. Es stellt nämlich eine aus zwei Doppellinsen zusammengesetzte Loupe dar, deren ebene Endflächen c. 23$^{\text{m.m.}}$ von einander abstehen und deren Vergrösserung ungefähr 4½ beträgt. Das Bild, welches dieses Ocular gewährt, ist in der That in seiner ganzen Ausdehnung scharf, gleichmässig vergrössert (nicht verzerrt) und nur sehr schwach gekrümmt.

Wahrscheinlich sind die aplanatischen Oculare von Schiek u. A. im Wesentlichen ähnlich construirt. Die orthoskopischen von Kellner dagegen stimmen mit der Campani'schen Einrichtung überein, indem sie aus einem einfachen planconvexen Collectiv und einem achromatischen oder vielmehr übercorrigirten Ocular bestehen, welches die vorausgegangenen Aberrationen aufheben soll. Nach Harting gewährt dieses Ocular ein grosses geradflächiges Gesichtsfeld, womit wahrscheinlich gesagt werden soll, dass die Bildfläche eben und die Vergrösserung eine gleichmässige sei.

Die beiden Benennungen »aplanatisch« und »orthoskopisch« scheinen übrigens, soweit wir die Sache kennen, so ziemlich dasselbe zu bedeuten. Um die Verzerrung des Bildes zu beseitigen, müssen die einfallenden Strahlenbündel so gelenkt werden, dass ihre Richtungslinien die optische Axe in demselben Puncte schneiden (s. hierüber das Kapitel von der Ebenung des Gesichtsfeldes). Das Ocular muss also aplanatisch sein. Da nun an orthoskopischen Ocularen gerade das Freisein von Verzerrungen besonders gerühmt wird, so scheint ihr Hauptvorzug ebenfalls darin zu liegen, dass sie aplanatisch sind. Und wenn sie auch ausserdem die Krümmung der Bildfläche in vollkommnerem Grade aufheben, als die aplanatischen Oculare von Plössl u. A., was wir dahingestellt sein lassen, so ist doch der Ausdruck »orthoskopisch« nicht sehr bezeichnend, da er von andern Optikern auch für bildumkehrend, resp. aufrichtend, also in einem ganz anderen Sinne gebraucht wird.

d. Das bildumkehrende Ocular.

Da die umgekehrte Lage, welche das zusammengesetzte Mikroskop den Bildern giebt, wenn auch nicht die Untersuchung, so doch das Präpariren der Objecte auf dem Objecttisch erschwert, so kamen die neueren Optiker auf den Gedanken, auf katoptrischem oder dioptrischem Wege eine Wiederumkehrung des Bildes zu bewerkstelligen. Das einfache Mikroskop, welches sonst gewöhnlich zu Zergliederungen benutzt wird, sollte auf diese Weise verdrängt und durch ein besseres Instrument ersetzt werden, welches insbesondere den wichtigen Vortheil eines grösseren Focalabstandes gewährt. Die Ausführung dieses Planes wurde in folgender Weise versucht. 38

Man fügte zu dem gewöhnlichen Ocular noch zwei Linsen hinzu, welche in gemeinsamer Fassung, die convexe Seite nach oben gewendet, in die Mikroskopröhre eingesetzt wurden. Das ganze Ocular erhielt dadurch dieselbe Einrichtung, wie beim terrestrischen Fernrohr, und musste also auch wie dieses eine Wiederumkehrung des Objectivbildes bewirken. Instrumente mit solchen Ocularen und zum Theil mit ausziehbaren Röhren wurden sowohl von Plössl als von Oberhäuser und ebenso von den meisten englischen Optikern hergestellt, haben jedoch unseres Wissens nie eine ausgedehntere Verbreitung gefunden.

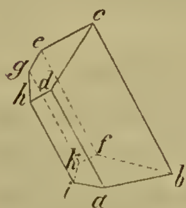
Eine andere Methode, welche Oberhäuser zuerst anwandte, besteht darin, ein vollständiges zusammengesetztes Mikroskop mit schwacher Vergrösserung als Ocular zu benutzen und dasselbe dem Objectiv so weit zu nähern, dass das von letzterem entworfene reelle Bild in geringer Entfernung von demselben zu Stande kommt. Es leuchtet ein, dass auf diese Weise ein Objectivabstand gewonnen wird, welcher bis zu ziemlich starken Vergrösserungen den freiesten Gebrauch der Präparirinstrumente gestattet. Dagegen lässt sich erwarten, dass die Schärfe der Bilder im Vergleich mit denen eines gewöhnlichen Mikroskops Manches zu wünschen übrig lässt. Solche Dissectionsmikroskope werden von Hartnack, dem Nachfolger Oberhäusers, gegenwärtig noch geliefert. 39

Endlich lässt sich die Umkehrung des Bildes auch durch reflectirende Prismen erzielen, welche entweder über dem Ocular oder in der Mikroskopröhre angebracht werden. Die Wirkung eines solchen Prismas mit zwei rechtwinklig zusammenstossenden Flächen ist in Fig. 9 veranschaulicht. Dasselbe bedingt, wie man sieht, eine Umkehrung mit Rücksicht auf rechts und links, bringt dagegen in der 40

Richtung senkrecht zur Papierfläche keine Veränderung hervor. Um die Umkehrung zu vervollständigen, muss daher ein zweites rechtwinklig zum ersten stehendes Prisma hinzugefügt werden. Es ist übrigens ohne Weiteres klar, dass eine solche Verbindung auch durch ein einzelnes Prisma ersetzt werden kann, wenn dasselbe so geschnitten ist, dass in seinem Innern eine zweimalige Totalreflexion von aequivalenter Wirkung stattfinden muss. Beide Mittel wurden von Chevalier, Nachet, Amici u. A. in verschiedener Weise in Anwendung gebracht. Am zweckdienlichsten dürfte immerhin eine Vorrichtung sein, wie sie in neuester Zeit von Nachet geliefert wird: ein in ein Kästchen eingeschlossenes Prisma, welches nach Belieben aufgesetzt oder weggenommen werden kann, je nachdem man das Mikroskop zu Zergliederungen oder zu Beobachtungen gebrauchen will. Dieses bildumkehrende Prisma (Prisme redresseur) von Nachet ist in Fig. 10 abgebildet. Die untere Fläche desselben steht senkrecht zur Mikroskopaxe und bildet mit der oberen, durch welche die Strahlen heraustreten, einen Winkel von 58°. Dadurch wird übrigens nichts Anderes bezweckt, als dass die optische Axe sich um etwa 30° gegen den Horizont neigt, so dass die Haltung des Kopfes eine bequemere wird. Die Flächen *abcd* und *bcef*, welche in der Kante *cb* zusammenstossen, sind die reflectirenden; sie bilden unter sich einen Winkel von 81½°, so dass die Reflexionsebenen der von unten einfallenden Strahlen, wie die Rechnung ergiebt, sich rechtwinklig schneiden. Die übrigen Flächen des Prismas sind ohne Einfluss auf die optische Wirkung desselben.

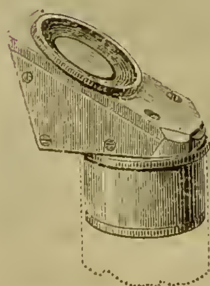


Figur 9.



Figur 10.

Wollte man auf die Bequemlichkeit verzichten, den Apparat nach Belieben wegnehmen zu können, so wäre es vortheilhafter, die untere Fläche des Prismas convex zu schleifen und dadurch die Ocularlinse zu ersetzen, — eine Einrichtung, wie sie Nachet seinen älteren bildumkehrenden Mikroskopen mit zwei rechtwinkligen Prismen gegeben hat (vgl. Harting, Mikr. p. 763). Die Umkehrung des Bildes würde in diesem Fall ohne Lichtverlust erzielt.


Figur 11.

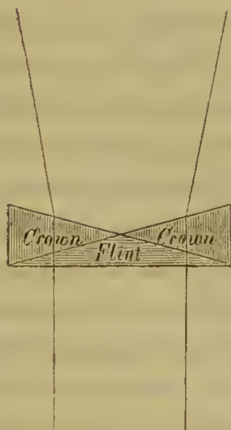
Das verbesserte bildumkehrende Prisma

(prisme redresseur perfectionné, Fig. 11), welches Nachet in seinem neuesten Katalog noch anführt, ist zur Vergrösserung des Gesichtsfeldes mit einem besonderen Ocular combinirt.

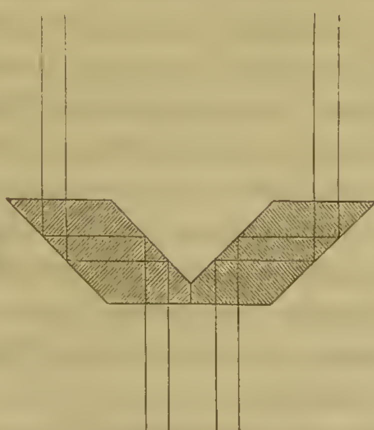
3. Die Mittel zur Theilung der Strahlenbündel.

Englische und französische Optiker verfertigen seit einiger Zeit 41
sogenannte multoculäre Mikroskope, durch welche gleichzeitig mehrere Personen ein und dasselbe Object beobachten können. Obschon nun freilich die Bedeutung solcher Instrumente für die Wissenschaft vorläufig noch zweifelhaft ist, so dürfen wir doch die Principien, auf denen die Construction derselben beruht, nicht ganz mit Stillschweigen übergehen.

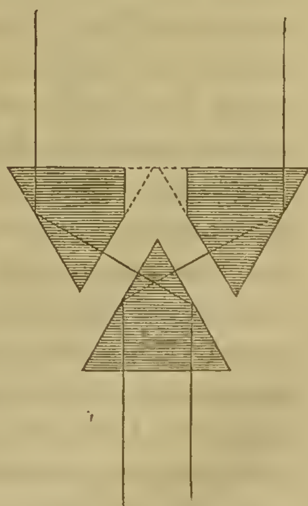
Wenn wir von den älteren Versuchen dieser Art absehen, so geschieht die Vervielfältigung des Bildes im Grunde durchgehends in derselben Weise, nämlich durch Spaltung der Strahlenbündel — unmittelbar nach dem Durchgang durch das Objectiv — in zwei oder mehr gleiche Theile, von denen jeder durch ein besonderes Rohr dem entsprechenden Ocular zugelenkt wird. Diese Spaltung wird nun aber bald auf dioptrischem, bald auf katoptrischem Wege bewirkt; auf dioptrischem durch ein achromatisches Prisma, wie es in Fig. 12 dargestellt ist, auf katoptrischem durch Prismencombinationen, welche die Strahlenbündel durch Totalreflexion nach verschiedenen Richtungen ablenken (Fig. 13 und 14). Die optische Wirkung dieser



Figur 12.



Figur 13.



Figur 14.

Prismen ist für den Fall einer Zweitheilung der Strahlenbündel ohne Weiteres aus der Construction ersichtlich; auch leuchtet ein, dass

wenn in Fig. 14 die seitlichen Prismen (oder ganz allgemein die Flächen, welche die zweite Reflexion bewirken) um 90° gedreht werden, eine vollständige Wiederumkehrung des Objectivbildes stattfinden muss. Der Optiker hat es also in seiner Gewalt, dem schliesslichen virtuellen Bild eine aufrechte oder verkehrte Lage zu geben.

Soll eine Theilung der Lichtkegel in drei oder vier Bündel erzielt werden, so müssen die brechenden oder reflectirenden Flächen, welche dieselbe bewirken, nach eben so vielen Richtungen gegen die Medianlinie geneigt sein. Die einspringenden Kanten in Fig. 12 und 13 erscheinen alsdann als körperliche Winkel mit drei oder vier Begrenzungsflächen; das mittlere Prisma in Fig. 14 wird zur 3—4seitigen Pyramide. Dasselbe Ziel würde man übrigens auch erreichen, wenn man die Spaltung an einem oder an beiden Theilbündeln in gleicher Weise wiederholte.

Die Vervielfältigung des Objectivbildes ist natürlich mit einer entsprechenden Schwächung der Lichtintensität verbunden; dazu kommen die Verluste, welche die Einschaltung brechender Substanzen schon an und für sich verursacht. Aus diesem Grunde sind bei multoculären Mikroskopen nur schwächere Linsensysteme anwendbar, und auch diese lassen, competenten Urtheilen zufolge, gar Manches zu wünschen übrig.

42 Die binoculären Mikroskope können auch so construirt werden, dass sie nach Art der Opernperspective zur Beobachtung mit beiden Augen dienen und dann eine stereoskopische Wirkung hervorbringen. Zu diesem Ende werden die zwei Röhren am besten so gestellt, dass sie der Convergenz der Augenaxen entsprechen, weil sonst die beiden Bilder sich nicht leicht zu einem vereinigen lassen. Man kann auch, um bei parallelen Röhren eine aequivalente Wirkung zu erzielen, über jedem Ocular ein achromatisches Prisma anbringen, welches im Maximum eine Ablenkung von c. 7° hervorruft und durch symmetrische Drehung der Ablenkungsebenen den Convergenzwinkel der optischen Axen so lange verkleinern, bis die beiden Felder sich vollkommen decken. Diese letztere Einrichtung hat z. B. das binoculäre stereoskopische Mikroskop von Nachet in Paris, die erstere dasjenige von Crouch in London.

Dass das stereoskopische Mikroskop gleich anderen stereoskopischen Vorrichtungen den Anschein der Körperlichkeit hervorbringen muss, lässt sich voraussehen; ob aber damit für die Wissenschaft irgend Etwas gewonnen, ob z. B. die Unterscheidung der Form- und Dichtigkeitsverschiedenheiten erleichtert sei, das möchten wir vor der

Hand sehr bezweifeln. Auf das rein Physikalische der Erscheinung werden wir weiter unten, im Abschnitt über die mikroskopische Wahrnehmung, näher eingehen.

IV.

Die chromatische und die sphärische Aberration.

1. Die chromatische Aberration.

Die verschiedenfarbigen Strahlen, aus welchen das weisse Licht 43
zusammengesetzt ist, werden bekanntlich beim Durchgang durch ein brechendes Medium ungleich gebrochen. Jeder einzelnen Farbe entspricht daher in einem gegebenen System von Linsen eine andere Lage der Cardinalpuncte und folglich auch des schliesslichen Bildes. Die Störungen, die aus diesem Umstande hervorgehen, bezeichnet man als chromatische Aberration. Ihre Beseitigung wird, wie wir hier als bekannt voraussetzen, durch die Eigenschaft der brechenden Substanzen möglich, bei geringer Verschiedenheit im Brechungsvermögen doch in sehr ungleichem Grade zerstreuend auf die verschiedenen Farben zu wirken. Bei Kronglas mit dem mittleren Brechungscoefficienten 1,5342 und bei Flintglas mit dem mittleren Brechungscoefficienten 1,6490 erhält man z. B. als Brechungsindex für die extremen Strahlen

	Kronglas	Flintglas
Aeusserstes Roth	1,5258	1,6277
Violett	1,5466	1,6711

Als Differenz zwischen diesen extremen Brechungswerthen ergiebt sich beim Kronglas 0,0208 und beim Flintglas 0,0434. Die beiden hier erwähnten Glassorten weichen also mit Rücksicht auf ihr Zerstreuungsvermögen um mehr als das Doppelte von einander ab.

Wenn man nun erwägt, dass Concav- und Convexlinsen entgegengesetzt wirken, so leuchtet ein, dass die Farbendispersion, welche eine Sammellinse von Kronglas hervorruft, durch Hinzufügen einer concaven Flintglaslinse vollständig beseitigt werden kann, ohne dadurch die Ablenkung der Lichtstrahlen gleichzeitig aufzuheben. Denn wäre die ablenkende Kraft in beiden Linsen gleich, aber entgegengesetzt, die Brennweiten also gleich, so würde die Flintglaslinse vermöge ihres doppelt so starken Zerstreuungsvermögens die Farbendispersion der Kronglaslinse nicht nur vernichten, sondern noch eine

entgegengesetzte von ungefähr gleicher Stärke hervorrufen. Es lässt sich also ein bestimmtes Verhältniss der Brennweiten denken, wobei das Linsenpaar für die extremen Strahlen achromatisch ist und doch die Eigenschaften einer Sammellinse besitzt.

Bezeichnet man die Brennweiten der Flintglaslinse für rothe und violette Strahlen mit F'_r und F'_v und die entsprechenden Brennweiten der Kronglaslinse mit F''_r und F''_v, so ist die Bedingung des Achromatismus

$$\frac{1}{F'_r} + \frac{1}{F''_r} = \frac{1}{F'_v} + \frac{1}{F''_v}\,.$$

Ist nun die Flintglaslinse planconcav und die Kronglaslinse biconvex und überdiess der Krümmungsradius der drei sphärischen Flächen derselbe, nämlich $= R$, wie wir diess für unser Objectiv vorausgesetzt haben, so wird obige Gleichung, wenn man für die Brennweiten ihre Werthe substituirt,

$$-(n'_r - 1)\frac{1}{R} + (n''_r - 1)\frac{2}{R} = -(n'_v - 1)\frac{1}{R} + (n''_v - 1)\frac{2}{R}\,,$$

wobei n'_r n'_v n''_r n''_v die den gleich bezeichneten Brennweiten entsprechenden Brechungscoefficienten sind. Durch Multiplication sämmtlicher Glieder mit R ergiebt sich

$$2\,(n''_v - n''_r) = n'_v - n'_r\,,$$

d. h. das Zerstreuungsvermögen des Flintglases muss doppelt so gross sein, als das des Kronglases, wenn eine nach obiger Annahme construirte Doppellinse achromatisch sein soll. Sobald

$$2\,(n''_v - n''_r) > n'_v - n'_r\,,$$

wird der Einfluss der Kronglaslinse, im umgekehrten Fall derjenige der Flintglaslinse vorwiegend.

44 Eine vollständige Vereinigung der Strahlen von verschiedener Brechbarkeit lässt sich übrigens bei einer Doppellinse nur für zwei bestimmte Farben des Spectrums, wie z. B. für Roth und Violett, erzielen. Da nämlich das Verhältniss der Dispersion im Kron- und Flintglas für verschiedene Farbenpaare ein anderes ist, so können, auch wenn das rothe und violette Bild sich vollkommen decken, die von den zwischenliegenden Strahlen erzeugten Bilder nicht mit jenen zusammenfallen. Die verschiedenfarbigen Bilder erscheinen daher nie genau gleich gross; die einen ragen mehr oder weniger über die andern hervor und bedingen dadurch den farbigen Saum, den man im weissen Lichte stets beobachtet. Im vollsten Sinne des Wortes ist also eine Doppellinse nie achromatisch.

Ganz dasselbe gilt natürlich auch für Linsensysteme; es kann

sich immer nur darum handeln, durch geschickte Combination der Flint- und Kronglaslinsen dem Achromatismus möglichst nahe zu kommen. Dabei kommt ausser dem richtigen Verhältniss der Brennweite namentlich auch die Wahl der Glassorten in Betracht, indem vorzugsweise solche geeignet sind, bei welchen die Partialdispersionen, d. h. die Zerstreuungsverhältnisse der gleichnamigen Farbenpaare (Frauenhofer'schen Linien) im Flint- und Kronglas möglichst wenig von einander abweichen.

Es versteht sich übrigens von selbst, dass bei Mikroskopen, deren Ocular aus einfachen Linsen besteht und folglich nicht achromatisch ist, die Flintglaslinsen des Objectivs einer um so grössern zerstreuenden Kraft bedürfen, da sie nicht bloss den damit verbundenen Kronglaslinsen, sondern auch dem Ocular das Gleichgewicht halten sollen. Das Objectiv muss also, wie man sich gewöhnlich ausdrückt, *überverbessert* sein. Nur ist dabei zu bemerken, dass wenn die von einem Objectpunct einfallenden Lichtkegel so gebrochen werden, dass die verschiedenfarbigen Objectivbilder sich *seitlich* gegen einander verschieben (was häufig vorkommt), eine Compensation zwischen Objectiv und Ocular unmöglich wird. Wir werden diesen Punct weiterhin (s. die Prüfung des Mikroskops) im Zusammenhang mit andern, welche das Verständniss desselben erleichtern, eingehend erörtern. Hier sei nur noch bemerkt, dass der blaue Rand des Gesichtsfeldes oder eines grösseren Objectes noch keineswegs den Beweis dafür liefert, dass das Objectiv wirklich überverbessert sei, und noch weniger, dass es im Verhältniss zu den unterverbesserten Ocularlinsen ein chromatisches Uebergewicht besitze.

2. Die sphärische Aberration.

Die *sphärische Aberration* oder die Abweichung wegen der 45
Kugelgestalt beruht bekanntlich darauf, dass die Brennweite der Randstrahlen stets kleiner ist, als die der Centralstrahlen und zwar um so mehr, je grösser der Abstand von der Axe. Wenn man die Linsenoberfläche in concentrische Zonen theilt, so entspricht also jeder Zone eine andere Brennweite und folglich auch eine andere Lage des Bildes. Die Verbindung von Flint- und Kronglas dient nun auch dazu, die hieraus erwachsenden Störungen zu beseitigen. Es lässt sich nämlich bei einer achromatischen Doppellinse ein solches Verhältniss der Brechungen herstellen, dass die Randstrahlen, welche von der concaven Flintglaslinse um eine gewisse Grösse stärker von der Axe abgelenkt werden, als die Centralstrahlen, durch die Kronglas-

linse um die nämliche Grösse stärker in entgegengesetzter Richtung gebrochen werden, so dass ihr Vereinigungspunct mit dem der Centralstrahlen zusammenfällt. Eine Doppellinse, bei welcher diese Vereinigung erzielt ist, heisst aplanatisch*).

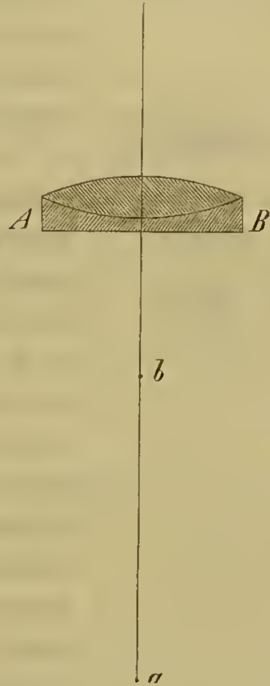
Jedes achromatische Linsenpaar kann auch aplanatisch gemacht werden. Denn da der Achromatismus, wie aus der oben mitgetheilten Bedingungsgleichung hervorgeht, von den Brennweiten und Zerstreuungsverhältnissen, der Aplanatismus dagegen von den Krümmungen abhängt, so können die bezüglichen Bedingungen nicht in Widerspruch gerathen. Selbst wenn die Vorderfläche der Flintglaslinse gegeben ist, lassen sich die Krümmungsradien der übrigen Flächen so bestimmen, dass jede Aberration verschwindet. Ist z. B. eine Doppellinse mit ebener Vorderfläche und gleichen Krümmungen, wie wir sie für unser Objectiv vorausgesetzt haben, achromatisch, aber nicht aplanatisch, vielmehr der Einfluss des Flintglases auf die Randstrahlen zu schwach, so braucht man bloss die Berührungsfläche der beiden Linsen etwas stärker zu wölben und dafür die hintere Fläche der Kronglaslinse ebenfalls entsprechend zu ändern, so dass das Verhältniss der Brennweiten unverändert bleibt. Im entgegengesetzten Fall müsste dagegen der Krümmungsradius der Berührungsfläche vergrössert und hierauf die Hinterfläche der Kronglaslinse aus der Bedingungsgleichung für den Achromatismus bestimmt werden. Für den praktischen Optiker ist es natürlich am vortheilhaftesten, wenn die Glassorten so beschaffen sind, dass sie eine nahezu gleichseitige Krümmung der Kronglaslinse erlauben, indem durch solche Verbindungen mit den stärksten herstellbaren Krümmungen die kleinsten Brennweiten erzielt werden.

46 Im vollsten Sinne des Wortes ist indessen der Aplanatismus ebensowenig als der Achromatismus erreichbar. Die Flintglaslinsen üben nämlich auf die Randstrahlen einen um so grösseren Einfluss aus, je weiter von der Axe entfernt sie einfallen. Wenn daher auch der Vereinigungspunct der äussersten Randstrahlen mit dem der Centralstrahlen zusammenfällt, so zeigen die näher der Axe durchgehenden Strahlen doch immer noch Spuren der Aberration.

---

*) Manche Autoren geben diesem Ausdruck eine etwas weitere Bedeutung. Sie nennen ein Linsensystem nur dann aplanatisch, wenn nicht nur die sphärische, sondern auch die chromatische Aberration möglichst beseitigt ist. Wir folgen in diesem Puncte Radicke (Handbuch der Optik) und anderen mathematischen Schriftstellern.

Ueberdiess zeigt sowohl die Rechnung, als die Erfahrung, dass eine Doppellinse, welche für parallel auffallende Strahlen aplanatisch ist, diese Eigenschaft nicht mehr besitzt, sobald die Strahlen unter sich convergiren oder divergiren; dass überhaupt der Aplanatismus nur für bestimmte Entfernungen der (reellen oder virtuellen) Objectpuncte zu erzielen ist. Ist z. B. die Doppellinse AB (Fig. 15) für den etwas ausserhalb der Brennweite liegenden Punct a aplanatisch, so wird, wenn ein Object von hier aus der Linse näher rückt, sogleich eine Ueberverbesserung bemerkbar, welche allmählich zu- und dann wieder abnimmt, bis sie endlich im Puncte b wieder verschwindet. Bei noch grösserer Annäherung, desgleichen beim Fernerrücken über a hinaus tritt die entgegengesetzte Aberration, also Unterverbesserung ein.

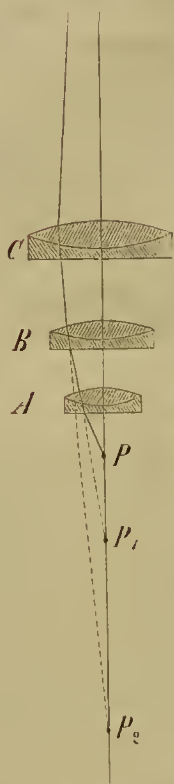


Figur 15.

Die beiden Puncte a und b, von welchen aus die Lichtstrahlen ohne Aberration durchgehen, werden die aplanatischen Brennpuncte der Doppellinse genannt. Ihre Bestimmung ist durch die Rechnung nur auf dem mühsamen Wege der Annäherung möglich und fällt um so unsicherer aus, je grösser die Oeffnung im Verhältniss zu den Krümmungsradien. Bei der Herstellung von Objectiven mit grösseren Oeffnungswinkeln (z. B. 60°—80°) ist daher der praktische Optiker vorzugsweise auf seine eigenen Erfahrungen angewiesen; er muss durch wiederholtes Versuchen sowohl die geeignetsten Glassorten, als das richtige Verhältniss der Krümmungsradien und der Linsenabstände herauszufinden und auf diesem rein empirischen Wege die beiden Aberrationen möglichst zu beseitigen suchen. Nur versteht sich von selbst, dass eine vorgängige theoretische Prüfung verschiedener Combinationen immerhin geeignet ist, manche beachtenswerthe Winke zu geben.

Bei der Vereinigung von Doppellinsen zu Objectiven ist also 47
darauf zu achten, dass das reelle oder virtuelle Object für jedes Linsenpaar in einen aplanatischen Brennpunct fällt. Sind z. B. A, B, C (Fig. 16) drei Objectivlinsen, P ein in der Axe gelegener Punct des Objectes, P_1 und P_2 die von der ersten und zweiten Linse entworfenen virtuellen Bilder, also P_2 das Bild von P_1 und virtuelles Object für die dritte Linse, so müssen, wenn das Objectiv aplanatisch sein

soll, die Puncte P, P_1 und P_2 mit den entsprechenden aplanatischen Brennpuncten zusammenfallen, oder, wenn diess nicht genau zutrifft, die kleinen Abweichungen der einen Linse durch die entgegengesetzten einer andern vernichtet werden. Grössere Abweichungen sind unzulässig, weil eine gegenseitige Aufhebung derselben nur für ganz bestimmte Randstrahlen, nicht aber für die der Axe näher oder entfernter liegenden möglich wäre. Sobald also die besonderen Aberrationen der einzelnen Doppellinsen eine gewisse Grenze überschreiten, wird dadurch die Schärfe des Bildes wesentlich beeinträchtigt.



Figur 16.

Aus der Bedeutung der aplanatischen Brennpuncte ergiebt sich von selbst, dass wenn die Linsenpaare annähernd richtig construirt sind, kleine Aenderungen ihrer Abstände die Deutlichkeit des Objectivbildes erhöhen können. Ist z. B. ein aus den Linsen AB (Fig. 16) bestehendes System in der gezeichneten Lage aplanatisch, fällt also das virtuelle Bild der ersten Linse nahezu mit dem aplanatischen Brennpunct der zweiten zusammen, so muss, wenn der Objectpunct P seine Lage beibehält, jede Distanzveränderung eine Unterverbesserung oder Ueberverbesserung zur Folge haben. Umgekehrt muss es daher auch möglich sein, einem gegebenen unvollkommen verbesserten Linsenpaare durch Veränderung des Linsenabstandes einen höheren Grad von Aplanatismus zu geben.

48 Der eben erwähnte Fall, in welchem der Objectpunct seine Lage zur ersten Linse beibehält, stimmt übrigens nicht ganz mit der Wirklichkeit überein. Durch stärkere Annäherung der Linsen wird nämlich, wie oben nachgewiesen wurde, die Brennweite des Objectivs kleiner und die Objectdistanz grösser, folglich auch die besondere Aberration der ersten Linse geändert. War die letztere vorher aplanatisch, so erscheint sie nach dem Zusammenschieben der Linsen, weil jetzt der Objectpunct etwas weiter absteht und zwischen die beiden aplanatischen Brennpuncte fällt, überverbessert, während die zweite Linse, deren virtuelles Object ebenfalls in grössere Ferne rückt und nun (im Fall sie die letzte des Objectivs ist) ausserhalb der aplanatischen Brennpuncte zu liegen kommt, eine Unterverbesserung zeigt. Diese entgegengesetzten Aberrationen können sich nun allerdings wechsel-

seitig aufheben, jedoch in genügender Weise nur dann, wenn sie unter sich gleich sind und eine gewisse Grenze nicht überschreiten.

Ist in einem Objectiv jedes Linsenpaar für sich aplanatisch, so kann das letzte Paar auch allein oder in Verbindung mit dem vorletzten gebraucht werden, da der Objectpunct alsdann genau an die Stelle des von der vorhergehenden Linse entworfenen virtuellen Bildes tritt, folglich der Aplanatismus keine Störung erleidet. Dagegen können die vorderen Paare nach Wegnahme des letzten, wie leicht einzusehen, nur ein undeutliches Bild gewähren.

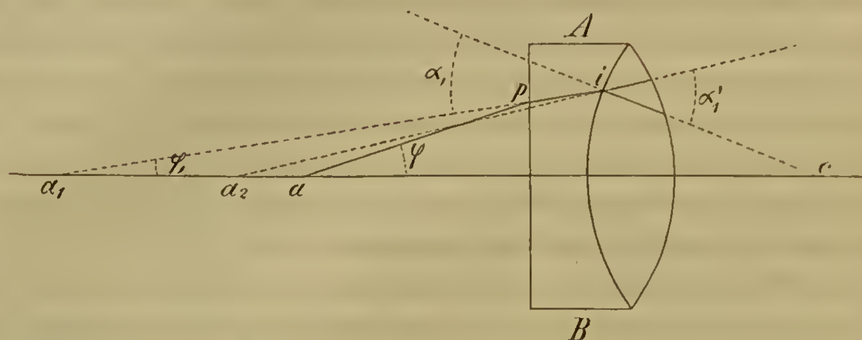
Aus dem Angeführten erklärt sich denn auch die Thatsache, dass gleich bezeichnete Objective aus der nämlichen Werkstatt immer nur annähernd übereinstimmen. Bei der absoluten Unmöglichkeit, dieselben Krümmungen wieder herzustellen, ist nämlich der Optiker bei jeder Linsencombination immer wieder auf's Probiren angewiesen, und hat er endlich die Aberrationen möglichst beseitigt, so ist es ein reiner Zufall, wenn das hergestellte Objectiv mit einem früheren genau dieselbe vergrössernde Kraft besitzt. Erfahrene Optiker verstehen es jedoch, diese unvermeidlichen Abweichungen in ziemlich engen Grenzen zu halten.

Es bleibt uns jetzt noch übrig, die oben zur Bestimmung der 49
Cardinalpuncte angenommene Linsencombination mit Rücksicht auf die beiden Aberrationen zu prüfen. Diese Prüfung kann natürlich nur eine rein theoretische sein; sie hat auch weniger den Zweck, die verschiedenen Voraussetzungen, auf welche die erwähnte Bestimmung sich stützt, gegen einander abzuwägen, als vielmehr für jede ähnliche Linsencombination ein Beispiel einer annähernden Berechnung zu geben.

Zur Beurtheilung der chromatischen Aberration fehlen indess die Anhaltspuncte, da die Zerstreuungsverhältnisse der Flint- und Kronglaslinsen für die angenommenen Brechungscoefficienten nicht bekannt sind. Wir beschränken uns daher auf die sphärische Aberration und führen auch hier noch die weitere Vereinfachung ein, dass die zu verfolgenden Randstrahlen von einem Puncte der optischen Axe ausgehen.

Es sei AB (Fig. 17) die erste Objectivlinse, a ein in der Axe gelegener Punct des Objectes, dessen Entfernung von der Linse $= \delta$, ap ein Randstrahl, welcher mit der Axe und daher auch mit dem Einfallsloth der ersten brechenden Fläche den Winkel φ bildet, a_1p die Richtung desselben nach der ersten Brechung: dann ist der Winkel φ_1, welchen der gebrochene Strahl mit der Axe bildet, durch das

Brechungsverhältniss des Flintglases bestimmt. Folglich kann auch der Abstand des Punctes a von der brechenden Fläche oder die dem



Figur 17.

Objectabstand δ entsprechende Vereinigungsweite, die wir mit f_1 bezeichnen wollen, als gegeben betrachtet werden. Man hat nämlich

$$f_1 = \delta \frac{\operatorname{tang} \varphi}{\operatorname{tang} \varphi_1} .$$

Der gebrochene Strahl ist nun mit Rücksicht auf die zweite brechende Fläche, die Berührungsfläche der beiden Linsen, als einfallender zu betrachten; der Winkel α_1, den er mit der vom Krümmungsmittelpunct durch den Einfallspunct gezogenen Geraden bildet, ist der Einfallswinkel. Seine Grösse ist durch die trigonometrische Beziehung gegeben

$$a_1 c : ci = \sin \alpha_1 : \sin \varphi_1 ,$$

oder wenn man den Krümmungsradius mit r und die Dicke der Flintglaslinse mit d bezeichnet,

$$(f_1 + d + r) : r = \sin \alpha_1 : \sin \varphi_1 ; \text{ folglich}$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{f_1 + d + r}{r} \sin \varphi_1 .$$

Der zugehörige Brechungswinkel, welcher α_1' heissen mag, ergiebt sich aus den bekannten Brechungsverhältnissen des Flint- und Kronglases. Somit ist auch die Richtung des Strahls nach der zweiten Brechung und damit der Winkel φ_2, den er mit der Axe bildet, als bekannt zu betrachten. Im Dreieck $a_1 i a_2$ ist nämlich die Summe der Winkel a_1 und i gleich dem Aussenwinkel φ_2, oder da $\angle i = \alpha_1' - \alpha_1$

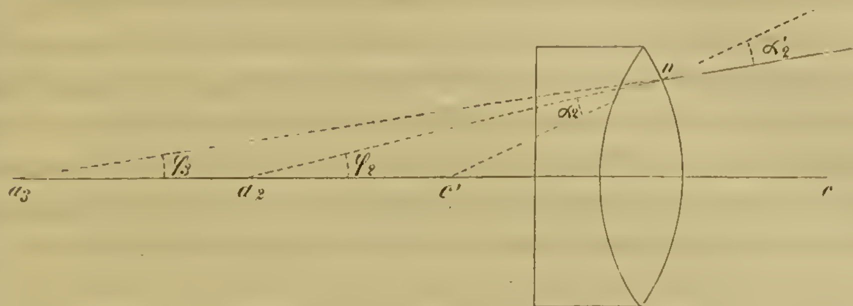
$$\varphi_2 = \varphi_1 + \alpha_1' - \alpha_1 .$$

Hieraus ergiebt sich für den Abstand f_2 des Punctes a_2 von der zweiten brechenden Fläche

$$f_2 = a_2 c - r , \quad \text{oder da } a_2 c : ci = \sin \alpha_1' : \sin \varphi_2$$

$$f_2 = r \frac{\sin \alpha_1'}{\sin \varphi_2} - r .$$

In gleicher Weise kann für die letzte brechende Fläche der Doppellinse der Einfallswinkel α_2 und hieraus der Brechungswinkel α_2' und



Figur 18.

der Winkel des gebrochenen Strahls mit der Axe (φ_3) berechnet werden. Das Dreieck $a_2 c_1 n$ (Fig. 18) ergiebt

$$\sin\alpha_2 = \frac{a_2 c'}{c\,n} \sin\varphi_2 = \frac{f_2 + d - r}{r} \sin\varphi_2$$

und ebenso ist im Dreieck $a_3 a_2 n$ die Summe der beiden spitzen Winkel $= \varphi_2$, folglich

$$\varphi_3 = \varphi_2 - (\alpha_2' - \alpha_2) \ .$$

Endlich erhält man aus dem Dreieck $a_3 c' n$ die Länge $a_3 c'$ und hieraus durch Addition von r die Entfernung des Punctes a_3 von der letzten brechenden Fläche, also f_3. Es ist

$$f_3 = r \cdot \frac{\sin\alpha_2'}{\sin\varphi_3} + r \ .$$

Damit ist der Gang des Randstrahls durch die erste Doppellinse bestimmt. Die aufgestellten Formeln gelten natürlich auch für die folgenden Doppellinsen, für welche die Rechnung genau in derselben Weise zu wiederholen ist. Der Punct a_3 ist für die Vorderfläche der zweiten Linse als Objectpunct zu betrachten; sein Abstand ist gleich $f_3 + e_1$, wenn die letztere Grösse die Entfernung der beiden Linsen bedeutet. Der Winkel φ_3 ist für die ebene Vorderfläche zugleich Einfallswinkel.

Bei der letzten Brechung erhält der Winkel φ einen negativen Werth, d. h. der Lichtstrahl wendet sich wieder der Axe zu und zeigt also die entgegengesetzte Neigung zu derselben. Demzufolge geht auch im Ausdruck für das entsprechende f_3, wie sich aus der Construction von selbst ergiebt, das Zeichen + in — über, und man hat

$$f_3 = r \cdot \frac{\sin\alpha_2'}{\sin\varphi_3} - r \ .$$

Nur wo der Einfluss der Flintglaslinsen ein überwiegender ist, kann der Fall eintreten, dass die Randstrahlen nach ihrem Durchgange

durch das Objectiv sich immer weiter von der Axe entfernen. Es müsste alsdann entweder der Krümmungsradius der Flintglaslinsen grösser oder deren Brechungscoefficient kleiner gewählt werden.

50 Nehmen wir jetzt an, die äussersten Randstrahlen bilden mit der Axe einen Winkel von 30⁰ (was bei einem Oeffnungswinkel von 60⁰ der Fall ist), und bezeichnen wir die Vereinigungsweite derselben — von der Hinterfläche der Linse an gerechnet — mit f_3 und die entsprechende Grösse für Centralstrahlen mit (f_3), so ergiebt die Rechnung für die erste Doppellinse unseres Objectivs folgende Beziehungen:

Erste Objectivlinse.

Objectdistanz. δ	Vereinigungsweiten. f_3	(f_3)	Differenz.
0,4	4,00417	3,7328	0,27137
0,4724	4,63716	4,59605	0,04111
0,50026	4,9034	4,87685	0,02655
0,5075	4,96517	4,9504	0,01477
0,51634	5,0475	5,0431	0,00440

Aus dieser Zusammenstellung geht nun zunächst hervor, dass die erste Doppellinse für eine Objectdistanz von 0,51634 m.m. annähernd aplanatisch, für kleinere Distanzen dagegen merklich unterverbessert ist, da die rückwärts verlängerten Randstrahlen die Axe in grösserer Entfernung schneiden, als die Centralstrahlen. Dabei ist jedoch vorausgesetzt, dass die vom Objectpunct ausgehenden Strahlen die Vorderfläche der Linse ohne Ablenkung erreichen, was bei der gewöhnlichen Beobachtungsweise bekanntlich nicht der Fall ist. Der Lichtstrahl gelangt durch die Flüssigkeit, in welcher das Object sich befindet, zum Deckgläschen und geht von diesem in Luft über, so dass er also erst nach zweimaliger Brechung das Objectiv trifft. Die Divergenz der Randstrahlen wird dadurch verstärkt; sie scheinen schliesslich von einem Puncte auszugehen, welcher über dem wirklichen Objectpunct liegt und um so weiter von demselben absteht, je dicker das Deckgläschen und je grösser der Winkel, den die Strahlen mit der Axe bilden. Wir werden diese Erscheinung weiterhin noch genauer verfolgen; hier genügt zu bemerken, dass in Folge davon die Objectdistanz für Randstrahlen etwas kleiner zu setzen ist, wenn die Rechnung für die gewöhnlich vorkommenden Fälle Geltung haben soll.

Wählen wir als Objectdistanz $0{,}5^{\text{m.m.}}$ (genauer 0,50026), wie sie oben (Nr. 25) für eine bestimmte Linsencombination berechnet wurde, so würde eine Verkleinerung derselben von c. $0{,}005^{\text{m.m.}}$ für die Randstrahlen gerade hinreichen, um eine vollständige Gleichheit der Vereinigungsweiten f_3 und (f_3) herzustellen. Nun ist freilich diese kleine Reduction der Objectsweite dem Einfluss gewöhnlicher Deckgläschen nicht aequivalent; allein da keine andere Combination dem Aplanatismus des Objectivs so nahe kommt, so mag es für unsern Zweck genügen, die hier gewählte auch den weitern Berechnungen zu Grunde zu legen und demnach für die zweite und dritte Doppellinse diejenigen Abstände und Brechungscoefficienten (s. die Tabelle zu Nr. 27) vorauszusetzen, welche der Objectdistanz 0,5 entsprechen. Die Vereinigungsweiten der Rand- und Centralstrahlen werden alsdann durch folgende Ziffern ausgedrückt.

Zweite Doppellinse.			Dritte Doppellinse.		
δ	f_3	(f_3)	δ	f_3	(f_3)
5,03069	23,802	23,403	24,302	177,203	177,20

Wie man sieht, ist die sphärische Aberration hier sozusagen vollständig beseitigt. Doch gilt diess natürlich bloss für Randstrahlen von 30^0, und es ist damit noch keineswegs bewiesen, dass diese Linsencombination auch für die übrigen Randstrahlen und also für den ganzen wirksamen Strahlenkegel eine möglichst aplanatische sei. Es wäre im Gegentheil leicht möglich, dass der grössere innere Theil des Strahlenkegels bei etwas veränderten Linsenabständen ein günstigeres Bild lieferte. Die Durchführung der Rechnung für alle innern Strahlen von 5 zu 5, oder von 10 zu 10^0 würde hierüber Aufschluss geben.

So umständlich alle diese Rechnungen auch sind, wenn sie für 51
verschiedene Fälle immer wieder von vorn angefangen werden sollen, bis sich endlich ein Minimum der Abweichung ergiebt, so würde sich doch die Mühe reichlich lohnen, wenn damit ein für allemal die Aufgabe gelöst wäre, Objective von grösstmöglicher Vollkommenheit in einer beliebigen Zahl von Exemplaren herzustellen. Allein es ist eine technische Unmöglichkeit, den Anforderungen der Mathematik beim Schleifen der Linsen Genüge zu leisten, und zwar sind die unvermeidlichen Abweichungen in den Krümmungen so gross, dass die Rechnung einen praktischen Werth eigentlich nur zum Behuf einer

allgemeinern Orientirung beibehält, und alles Weitere der Geschicklichkeit und Erfahrung des Optikers anheimzustellen ist.

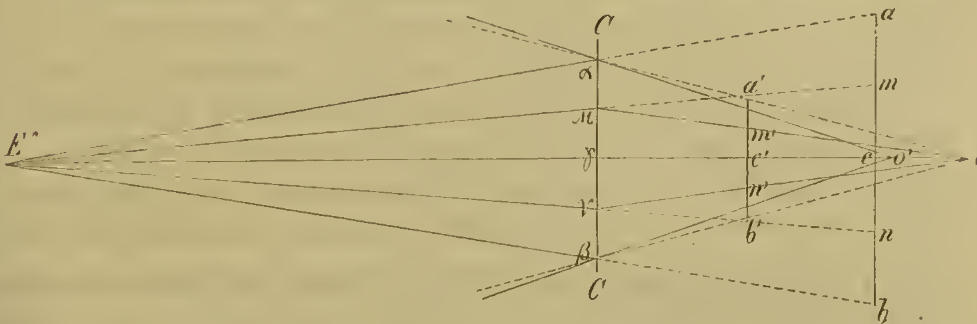
Der praktische Optiker muss schon bei der Herstellung der Doppellinsen diejenigen Paare aus seinem Linsenvorrathe heraussuchen, deren Gesammtwirkung seinen Musterlinsen möglichst nahe kommt, wobei er bald einen schwachen Grad von Unter- oder Ueberverbesserung, bald vollständigen Aplanatismus im Auge haben kann. In gleicher Weise lässt sich auch für die Verbindung der Doppellinsen zum Objectiv nur durch wiederholtes Probiren der erforderliche Grad der Verbesserung erzielen. Dabei werden gewöhnlich die zweite und dritte Linse, mit denen der Anfang gemacht wird, entweder unbeweglich verbunden, oder sie bilden wenigstens ein unzerlegbares System, das nur in seiner Gesammtwirkung ein befriedigendes Bild erzeugt. Dasselbe gilt bei manchen neueren Objectiven für alle drei Linsen, so dass jeder Vergrösserung, deren das Mikroskop bei gleichem Tubus und Ocular fähig ist, ein anderes Objectivsystem entspricht*). Die erste Linse ist bei den stärksten Objectiven häufig so gefasst, dass sie der folgenden mehr oder weniger genähert werden kann, je nachdem es der Einfluss der Deckgläschen oder überhaupt die bereits stattgefundene Ablenkung der einfallenden Strahlen erheischt.

Die Verbesserung der Aberrationen geschieht also in der Praxis, wie in der Theorie, auf dem Wege der Annäherung. Jene beginnt die Prüfung mit den letzten Brechungen im System und schreitet rückwärts zu der ersten; diese verfolgt den Lichtstrahl von der Vorderfläche des Objectivs bis zu dessen Endfläche.

52 Besondere Erwähnung verdienen die Folgen der sphärischen Aberration im Ocular. Da nämlich die Lichtkegel, welche nach den Puncten des Objectivbildes zielen, sehr verschmälert sind und nur einen äusserst kleinen Theil der Collectivlinse treffen, so sind es nicht, wie beim Objectiv, einzelne Strahlen, welche die stärkere Brechung des Linsenrandes erfahren, sondern die ganzen bilderzeugenden Strahlenbündel, welche diesen Rand durchsetzen. Die Kugelab-

*) Nach diesem Princip sind z. B. die stärkeren Objectivsysteme von Hartnack, Bénèche, Kellner, Plössl etc. construirt. Die beiden hinteren Linsen geben für sich allein ein sehr undeutliches Bild, das sowohl sphärisch als chromatisch stark übercorrigirt ist. Der blaue Lichtnebel, welcher die Contouren umzieht, ist sogar meistens so augenfällig und ausgebreitet, dass man a priori daran zweifeln möchte, ob eine so bedeutende Abweichung durch Hinzufügen der vordersten Linse in befriedigender Weise compensirt werden könne. Dessenungeachtet lässt sich nicht in Abrede stellen, dass die praktische Optik mit solchen Linsencombinationen bis jetzt die günstigsten Erfolge erzielt hat.

weichung kann sich also nicht durch Verwischung der einzelnen Bildpuncte kundgeben, weil die Aberrationen innerhalb eines Strahlenbündels so gut wie Null sind; sie wirkt dagegen auf die Richtung der Bündelaxen nach der Brechung und in Folge dessen auf die gegenseitige Lage der Bildpuncte. Zur Versinnlichung dieser Wirkung sei in Fig. 19 E^* der zweite Hauptpunct des Objectivs, in welchem die Axen der bilderzeugenden Lichtkegel sich schneiden,



Figur 19.

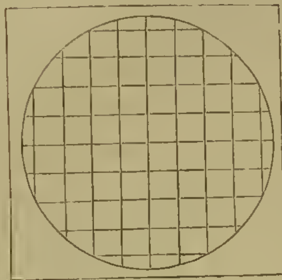
CC das unendlich dünn gedachte Collectiv, ab das (nicht zu Stande kommende) Objectivbild und $a'b'$ das reelle Bild des Collectivs. Wäre nun die Collectivlinse aplanatisch, so müssten die nach a und b zielenden Lichtkegel (in der Figur sind sie durch einfache Linien dargestellt) die optische Axe in demselben Puncte schneiden, in welchem auch die mehr centralen Lichtkegel, wie z. B. E^*m und E^*n, sich kreuzen. Beliebige Puncte $m, n \ldots.$ in der Ebene ab müssten alsdann eine entsprechende Lage im reellen Bilde $a'b'$ erhalten, denn es bestehen die Proportionen

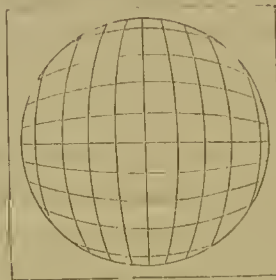
$$am : mc = \alpha\mu : \mu\gamma = a'm' : m'c' \quad \text{und ebenso}$$
$$bn : nc = \beta\nu : \nu\gamma = b'n' : n'b'.$$

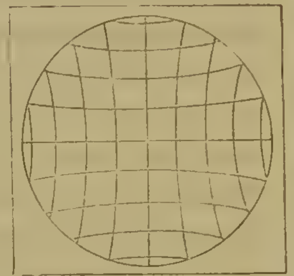
Das Objectivbild würde also eine durchweg gleichmässige Verkleinerung erfahren.

Durch die stärkere Brechung der peripherischen Bündel wird nun aber diese Gleichmässigkeit gestört. Während die nach m und n zielenden Bündel nach o gebrochen werden, kreuzen sich die nach a und b gehenden schon in o'. Die Puncte a' und m' auf der einen, b' und m' auf der anderen Seite werden in Folge dessen, wie sich unmittelbar aus der Figur ergiebt, einander näher gerückt, als diess bei gleichmässiger Verkleinerung der Fall wäre. Dasselbe Raisonnement findet natürlich auch auf beliebige andere Puncte, welche in radialer Richtung neben einander liegen, Anwendung. So gelangen wir also zu dem allgemeinen Schluss, dass die Flächenelemente des Objectiv-

bildes in Folge der sphärischen Aberration des Collectivs um so stärker verkleinert werden, je grösser ihr Abstand von der optischen Axe. Dem entsprechend würde z. B. ein quadratisches Maschennetz (Fig. 20), als Objectivbild gedacht, im reellen Bilde des Collectivs wie in Fig. 21 erscheinen.


Figur 20.


Figur 21.


Figur 22.

Gerade umgekehrt ist die Wirkung, wenn eine Linse unter übrigens gleichen Voraussetzungen so gestellt ist, dass sie statt reeller virtuelle Bilder liefert. Es leuchtet diess sogleich ein, wenn man in Fig. 19 die nach *o* und *o'* gezogenen Linien rückwärts verlängert; die peripherischen Bildpuncte rücken alsdann in Folge der Kugelabweichung über die Stelle hinaus, die sie bei Anwendung einer aplanatischen Linse einnehmen würden. Die Randpartieen des Bildes erscheinen also stärker vergrössert als die centralen; das quadratische Maschennetz erhält das Aussehen von Fig. 22. Bekanntlich ist diess die Verzerrung, die man bei jeder nicht achromatischen Loupe in höherem oder geringerem Grade beobachtet und die man irrthümlich als Krümmung des Gesichtsfeldes zu bezeichnen pflegt. Da nun die Ocularlinse selbstverständlich eine ähnliche Verzerrung hervorruft, folglich der Collectivlinse entgegengesetzt wirkt, so lässt sich immer ein Verhältniss denken, bei welchem das schliessliche virtuelle Bild des Mikroskops eine nahezu gleichmässige Vergrösserung zeigt oder, wie man sich gewöhnlich ausdrückt, ziemlich geradflächig erscheint. Auf der Herstellung eines solchen Verhältnisses beruht die sogenannte Ebenung des Gesichtsfeldes, auf welche wir weiterhin in einem besonderen Kapitel zurückkommen werden.

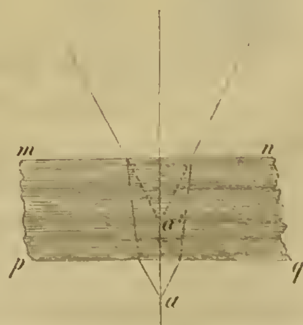
53 Die sphärische Aberration des Collectiv- und Ocularglases bedingt also unter den im Mikroskop gegebenen Verhältnissen stets eine Verzerrung des reellen Bildes in dem Sinne, dass die Randparticen schwächer vergrössert erscheinen als die Mitte, und eine Verzerrung des schliesslichen virtuellen Bildes in entgegengesetztem Sinne. Ob hiebei die Bildpuncte in einer ebenen oder gekrümmten Fläche liegen,

ist völlig gleichgültig; die (wirkliche) Krümmung der Bildfläche ist eine Erscheinung ganz anderer Art, welche von den Mikrographen mit Unrecht als die Ursache der Verzerrung bezeichnet wird. Wir werden geeigneten Orts näher auf diesen Punct eingehen; hier kann es sich nur um die Frage handeln, ob und in welcher Weise die sphärische Aberration auf die Bildfläche selbst influire, oder mit andern Worten, welche Veränderungen am Bilde einer aplanatisch gedachten Linse eintreten, wenn die letztere durch eine nicht aplanatische von gleicher Brennweite (für Centralstrahlen) ersetzt wird. Die Frage ist leicht zu beantworten. Eine nicht aplanatische Linse wirkt auf die peripherischen Lichtbündel, weil sie nur einen kleinen Theil der Linse treffen, genau so, wie eine aplanatische von etwas kürzerer Brennweite; sie rückt also ceteris paribus reelle Bildpuncte etwas näher und entfernt virtuelle. Die sphärische Aberration des Collectivs wirkt somit gleichsam anziehend auf die Randpartieen des reellen Bildes, während diejenige des Oculars auf das schliessliche virtuelle Bild einen abstossenden Einfluss übt. Anziehung und Abstossung nehmen natürlich von aussen nach innen ab und werden im Centrum Null. Die Krümmung der Bildfläche betreffend, ergiebt sich also, dass dieselbe in Folge der Kugelabweichung stärker oder schwächer ausfällt, je nachdem die convexe Seite im aplanatischen Systeme nach oben oder nach unten gekehrt ist.

V.

Vom Einfluss der Deckgläschen.

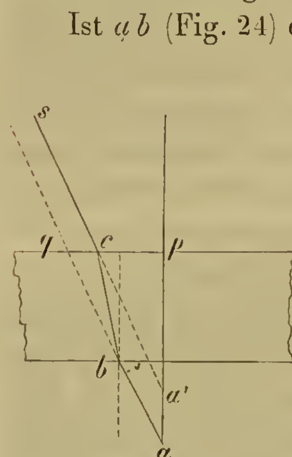
Ein Blick auf die nebenstehende Fig. 23 lehrt, dass zwei Strah- 54
len, die von einem Puncte *a* ausgehen, nach dem Durchgang durch ein von parallelen Flächen (*mn* und *pq*) begrenztes Medium von einem Puncte *a'* zu kommen scheinen, welcher mehr oder weniger vom Objectpuncte *a* absteht. Sind beide Strahlen gleich gegen die brechenden Flächen geneigt, so fallen die Puncte *a* und *a'* in eine mit dem Einfallsloth parallele Gerade; sind sie dagegen ungleich geneigt, so bildet ihre Verbindungslinie einen schiefen Winkel mit der Richtung des Perpendikels.



Figur 23.

Ein Lichtbündel, dessen Strahlen vom Objectpuncte a aus divergiren, wird demzufolge nach dem Austritt aus dem Deckgläschen nicht mehr homocentrisch sein, sondern aus unendlich vielen in einander geschachtelten Kegeln bestehen, deren Spitzen senkrecht oder schief über einander liegen, je nachdem der einfallende Lichtkegel mit Rücksicht auf das Deckgläschen ein senkrechter oder schiefer war. Der reelle Objectpunct stellt sich also virtuell als eine Linie dar, deren Länge, wie leicht einzusehen, mit der Dicke des Deckgläschens und dem Oeffnungswinkel des Objectivs zu- und abnimmt.

Ist ab (Fig. 24) ein einfallender Strahl, welcher das Deckgläschen in der Richtung bc durchsetzt und hierauf in das ursprüngliche Medium übergeht, so ist cs parallel mit ab. Die Lage des Punctes a', in welchem der rückwärts verlängerte ausfahrende Strahl die Senkrechte ap schneidet, lässt sich alsdann trigonometrisch bestimmen. Bezeichnet man nämlich den Einfallswinkel mit α, den Brechungswinkel mit α' und die Dicke des Deckgläschens mit D, so ist zunächst $bc = \frac{D}{\cos\alpha'}$. Das Dreieck qcb ergiebt sodann $qc = bc \cdot \frac{\sin(\alpha-\alpha')}{\cos\alpha}$.



Figur 24.

Endlich erhält man aus dem Dreieck aqp, da $a'c$ mit aq parallel ist: $aa' : qc = ap : pq = \cos\alpha : \sin\alpha$, folglich

$$aa' = qc \cdot \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} .$$

Substituirt man nun für qc und bc deren Werthe, so hat man

$$aa' = D \frac{\sin(\alpha-\alpha')}{\sin\alpha \cos\alpha'}$$

und nach leicht zu übersehender Reduction

$$aa' = D\left(1 - \frac{\tang\alpha'}{\tang\alpha}\right) .$$

Wird α zu 40^0 und der Brechungscoefficient des Deckgläschens zu 1,5 angenommen, so erhält man, wenn das umgebende Medium Wasser ist,

$$aa' = 0{,}168106 \cdot D$$

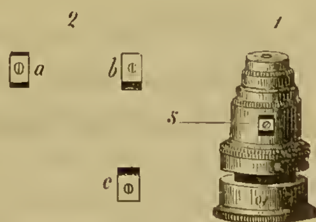
und wenn als umgebendes Medium Luft vorausgesetzt wird,

$$aa' = 0{,}565037 \cdot D .$$

Im gewöhnlichsten Fall, wenn nämlich unterseits Wasser, oberseits Luft sich befindet, erhält der letztere Ausdruck noch einen kleinen Zuwachs, welcher mit der Entfernung des Objectpunctes von der

untern Fläche des Deckgläschens grösser und kleiner und für die Entfernung = 0 ebenfalls Null wird.

Es ist nun nach den oben (s. Nr. 50) mitgetheilten Angaben über 55
den Gang der Randstrahlen einleuchtend, dass eine Verkleinerung der Objectdistanz, welche selbst bei Deckgläschen von nur $^1/_5$ m.m. Dicke für Strahlen von 40° Neigung noch circa $^1/_9$ m.m. beträgt, einen merklichen Einfluss auf die Lage des entsprechenden Objectivbildes und somit auch auf die Verbesserung der Aberrationen üben muss. Ein Mikroskop, welches von unbedeckten Objecten ein scharfes Bild entwirft, wird bei Anwendung eines Deckgläschens um so trübere Bilder liefern, je grösser die dadurch bewirkte Veränderung der Objectdistanz. Ebenso wird ein Instrument, dessen Objectiv zum Eintauchen in Wasser bestimmt ist, sich bei der Beobachtung in Luft als weniger aplanatisch erweisen, wenn nicht eine entsprechende Correction durch Veränderung der Linsenabstände den Fehler gut macht. Dabei versteht sich von selbst, dass Objectivsysteme mit Oeffnungswinkeln von 120 bis 160°, wie sie von Amici, Nachet, Ross und andern Mikroskopverfertigern geliefert werden, gegen solche Einflüsse weit empfindlicher sind als diejenigen, deren Oeffnungswinkel nur 60—80° beträgt. Darum sind denn auch die stärksten Objective neuester Construction mit Vorrichtungen bedacht, welche den Abstand der ersten Linse von den beiden übrigen zu verändern gestatten, so weit die Compensation der vorausgegangenen Brechung diess erheischt. Als Regel gilt dabei, dass der Linsenabstand um so kleiner gemacht wird, je grösser die scheinbare Annäherung des Objectes durch das Deckplättchen. Correctionsvorrichtungen dieser Art besitzen z. B. die Objectivsysteme Nr. 3—8 von Nachet (objectifs à corrections), Nr. 9 und 10 von Hartnack, ferner die stärkeren Linseneinsätze von Plössl und die englischen Objective von Ross, Smith, Powell u. a. Der Mechanismus derselben ist aus Fig. 25 zu ersehen, in welcher der Metallschieber *s* die verschiedenen Linsenstellungen anzeigt. Seine mittlere Lage *a* und die beiden extremen *b* und *c* sind nebenan noch besonders dargestellt.



Figur 25.

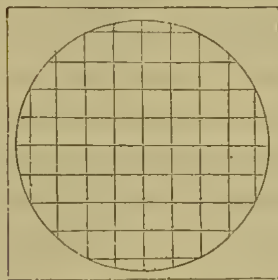
Ueber den Einfluss der Deckplättchen auf Objective von mittlerer Stärke hat sich Mohl in seiner Mikrographie ausführlich verbreitet, und wir verweisen rücksichtlich der älteren Systeme von Plössl und Amici auf seine Angaben. Was die neueren Instrumente betrifft,

die wir zu untersuchen Gelegenheit hatten, so haben wir nicht gefunden, dass Verschiedenheiten der Dicke, wie sie bei käuflichen Deckgläschen gewöhnlich vorkommen, wenn z. B. 3–6 auf einen Millimeter gehen, auf das mikroskopische Bild in irgend erheblichem Grade influiren. Es rührt diess ohne Zweifel daher, dass die neueren Optiker ihre mittelstarken Objective für gewöhnliche Deckgläschen von c. $\frac{1}{4}$ m.m. Dicke construiren, während die Amici'schen Systeme ausdrücklich für Deckplättchen von verschiedener und zum Theil sehr beträchtlicher Dicke (bis zu 1,5 m.m.) bestimmt sind. Ebenso giebt auch Plössl zu seinen neueren Mikroskopen ziemlich dicke Deckgläschen, bei deren Anwendung allerdings die vordere Linse eingeschoben werden muss.

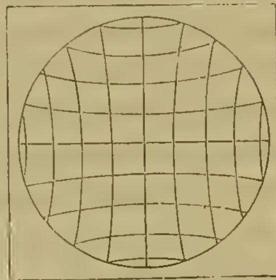
VI.

Die Ebenung des Gesichtsfeldes.

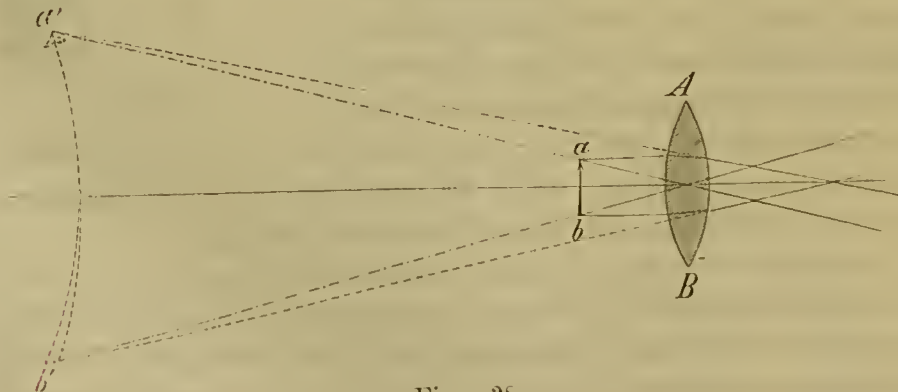
56 Betrachtet man durch eine Linse oder ein Linsensystem eine gerade Linie, so erscheint sie im Bilde im Allgemeinen nur dann gerade, wenn sie durch das Centrum des Gesichtsfeldes geht, in jeder andern Lage dagegen als eine Curve, deren convexe Seite nach innen gekehrt und deren Krümmung um so stärker ist, je grösser der Abstand vom Centrum. Ein aus quadratischen Maschen bestehendes Netz (Fig. 26) wird dem entsprechend so wahrgenommen, wie es in Fig. 27



Figur 26.



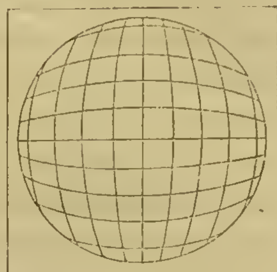
Figur 27.



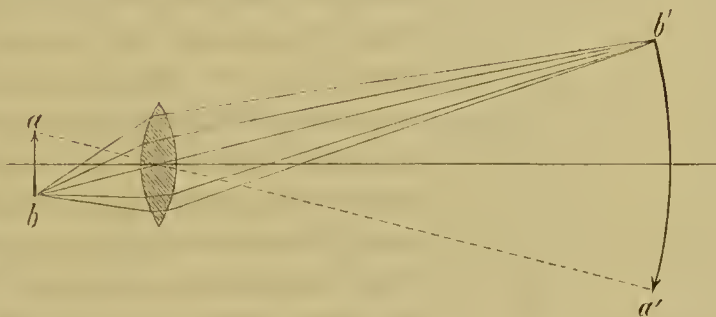
Figur 28.

dargestellt ist, und ebenso erscheint auch jedes andere Object im virtuellen Bilde mehr oder weniger verzerrt.

Man pflegt diese Verzerrungen dadurch zu erklären, dass die Puncte des virtuellen Bildes *a′ b′* (Fig. 28), welches die Linse *A B* von der zur optischen Axe senkrecht gedachten Ebene *a b* entwirft, in einer gekrümmten Fläche liegen, deren convexe Seite dem Objecte zugekehrt ist, und dass die peripherischen Theile dieser Fläche in Folge ihrer grösseren Entfernung eine etwas stärkere Vergrösserung zeigen. In gleicher Weise soll auch die entgegengesetzte Verzerrung der reellen Bilder (Fig. 29), bei welcher die Vergrösserung von innen nach aussen abnimmt, durch eine entsprechende Krümmung der Bildfläche (Fig. 30) hervorgerufen werden (vgl. Harting, das Mikroskop p. 134 u. 278).



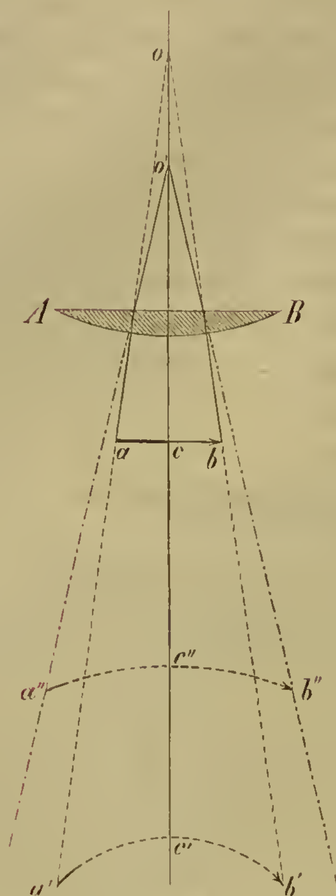
Figur 29.



Figur 30.

Dass diese Darstellungsweise eine durchaus irrige ist, geht schon aus dem oben (Nr. 52 und 53) Angeführten klar genug hervor. Es wurde dort gezeigt, dass solche Verzerrungen nicht in der Krümmung der Bildfläche, sondern in der stärkeren Brechung der peripherischen Lichtbündel, also in der sphärischen Aberration der bilderzeugenden Linsen ihre Erklärung finden; gleichzeitig aber auch angedeutet, dass unabhängig davon eine wirkliche Krümmung des Bildes vorkommen könne und dass dieselbe durch die Kugelabweichung der Linsen vermehrt oder vermindert werde, je nachdem ihre convexe Seite nach oben oder nach unten gekehrt sei. Dessenungeachtet mag es nicht ganz überflüssig sein, wenn wir hier noch einmal auf diesen Gegenstand zurückkommen, um an einem möglichst einfachen Fall nicht allein die Ursachen der Verzerrung durch die Ocularlinse, sondern gleichzeitig auch diejenigen der Krümmung des virtuellen Bildes klar darzulegen.

57 Es sei $a\,b$ (Fig. 31) das Collectivbild, dessen verschmälerte Strahlenkegel (die in der Figur durch einfache Linien dargestellt sind) nach dem Puncte o convergiren; ferner $A\,B$ die Ocularlinse, und der Krümmungsmittelpunct der convexen Fläche in o. Endlich sei das beobachtende Auge auf unendliche Entfernung eingestellt. Alsdann erfahren die nach o convergirenden Lichtbündel, weil sie in der Richtung des Radius einfallen, an der nach unten gekehrten Fläche keine Ablenkung, indem sich die Brechung darauf beschränkt, den Convergenzpunct in der Richtung der Bündelaxe in unendliche Ferne zu rücken. Das hiebei zu Stande kommende virtuelle Bild $a'\,b'$ (das man sich in unendlicher Ferne*) zu denken hat) stimmt natürlich vollkommen mit dem Objecte überein, d. h. es findet zwischen den einzelnen Objectpuncten und ihren Bildern perspectivische Deckung statt. Quadratische Maschen müssten also auch im Bilde quadratisch erscheinen. Dessenungeachtet ist dieses virtuelle Bild ziemlich gewölbt, weil die Randpuncte des eben gedachten Objectes weiter von der brechenden Fläche abstehen, als das Centrum.

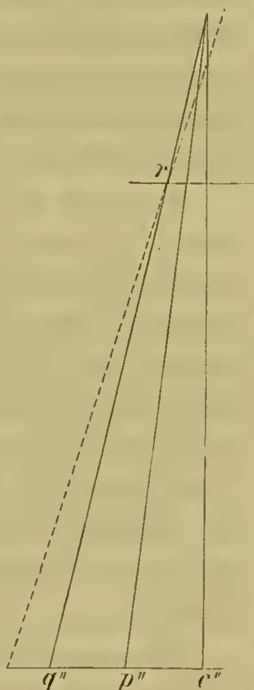


Figur 31.

Durch die zweite Brechung an der oberen Fläche der Ocularlinse wird selbstverständlich der Parallelismus nicht gestört: das Bild bleibt in unendlicher Ferne. Allein die Strahlenbündel werden von ihrer Richtung abgelenkt, und zwar um so stärker, je grösser der Winkel, den sie mit der Axe des Mikroskops bilden. Die Vergrösserung, welche das virtuelle Bild dadurch erfährt, wird annähernd durch den Brechungscoefficienten ausgedrückt; sie ist jedoch keine durchweg

*) Unsere Figur ist für die gewählten endlichen Entfernungen genau. Das virtuelle Bild wird in diesem Fall durch die zweite Brechung um den $\left(\frac{n-1}{n}\right)$ten Theil seines früheren Abstandes näher gerückt, wobei n den Brechungscoefficienten bezeichnet. Im Uebrigen ist der Strahlenverlauf genau derselbe.

gleichmässige. Denkt man sich nämlich das Object ab in eine beliebige Zahl gleicher Theile getheilt, so treffen die von den Theilungspuncten ausgehenden Strahlenbündel auch das Ocular, und rückwärts verlängert die Projectionsebene des virtuellen Bildes $a'b'$, in gleichen Abständen. Eine gleichmässige Vergrösserung würde also offenbar voraussetzen, dass die abgelenkten Lichtbündel die Axe des Mikroskops in dem nämlichen Puncte schneiden. Diese Voraussetzung trifft nun aber nicht zu, indem der Kreuzungspunct der peripherischen Strahlen der Ocularlinse stets näher zu liegen kommt, als der der mittleren. Dadurch wird aber das schliessliche virtuelle Bild nothwendig mehr oder weniger verzerrt. Denn ist c'' (Fig. 32) das Bild des in der Axe liegenden Objectpunctes c, p'' dasjenige eines beliebigen Theilungspunctes p, so müsste ein doppelt so weit abstehender Punct q bei gleichmässiger Vergrösserung auch im Bilde in doppelter Entfernung, also in q'', entworfen werden. In Wirklichkeit dreht sich nun aber das bilderzeugende Lichtbündel etwas stärker um seinen Einfallspunct r in der oberen Fläche der Ocularlinse, da es die Axe in etwas geringerer Entfernung schneidet. Der Punct q'' fällt also, wie die punctirte Linie diess andeutet, um eine gewisse Grösse weiter nach aussen; folglich wird im virtuellen Bilde, das wir beobachten, $cq'' > 2 \times c''p''$ und $p''q'' > c''p''$. Das heisst aber nichts anderes, als dass die Vergrösserung mit der Entfernung von der Axe zunimmt. Diese Zunahme beschränkt sich jedoch, wie leicht einzusehen, auf die radiale Richtung; die tangentiale wird bloss insofern betroffen, als mit der Verschiebung der Bildpuncte in radialer Richtung natürlicher Weise auch eine proportionale Veränderung ihrer Abstände verbunden ist. Gerade Linien im Object, welche (nöthigenfalls verlängert) sich im Mittelpunct des Gesichtsfeldes schneiden, müssen daher auch im Bilde als gerade Linien sich darstellen; in jeder andern Richtung dagegen bedingt die ungleichmässige Vergrösserung eine um so stärkere Krümmung derselben, je weiter sie vom Mittelpunct abstehen.



Figur 32.

Wir dürfen es hienach als festgestellt betrachten, dass Krüm- 58
mung und Verzerrung zwei durchaus verschiedene Erscheinungen sind, die sich in keiner Weise wechselseitig bedingen. Die Verzer-

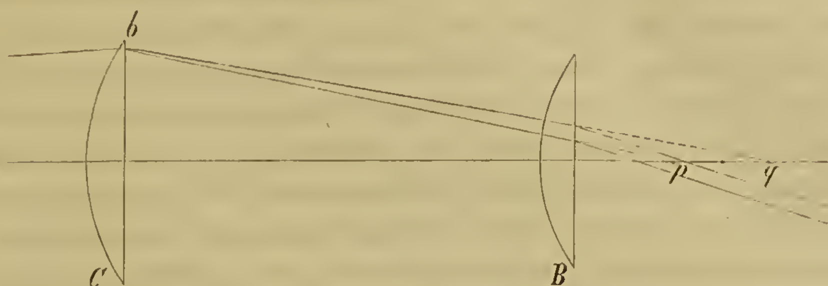
rung hängt, wir wiederholen es, von der sphärischen Aberration der brechenden Flächen, die Krümmung dagegen von den ungleichen Abständen der zugehörigen Objectpuncte ab (wobei das Bild der vorhergehenden Fläche für die nächstfolgende als Object zu betrachten ist). Ist die sphärische Aberration auch ausgeglichen, so folgt daraus noch nicht, dass das mikroskopische Bild damit geebnet sei, und umgekehrt kann ein vollkommen ebenes Bild noch mehr oder weniger verzerrt erscheinen. Beide Uebelstände müssen gehoben sein, wenn die Ebenung des Gesichtsfeldes im herkömmlichen Sinne des Wortes eine vollständige sein soll.

Die Verzerrung sowohl, als die Krümmung, lässt sich auf zwei verschiedene Arten beseitigen, einmal dadurch, dass das Ocular durch Hinzufügen planconcaver Flintglaslinsen aplanatisch und orthoskopisch gemacht wird, sodann zweitens durch geschickte Wahl und Combination einfacher Planconvexlinsen als Collectiv und Ocular, indem die entgegengesetzten Abweichungen so regulirt werden, dass sie sich aufheben.

Nachdem die Principien, auf denen der Aplanatismus beruht, bereits in einem früheren Kapitel auseinandergesetzt worden, haben wir nicht nöthig, hier noch einmal auf den Gegenstand zurückzukommen. Man sieht leicht ein, dass die Construction aplanatischer Oculare eine viel einfachere Aufgabe ist, als diejenige der Objective, weil es möglich ist, die Krümmungen der Linsen den Anforderungen der Rechnung gemäss herzustellen. Es bleibt uns also nur die Frage zu erörtern übrig, wie in einem gewöhnlichen Ocular die Aberrationen verbessert werden können, und wie im Allgemeinen die Krümmungen der brechenden Flächen auf die Krümmung des Bildes influiren.

59 Was zunächst den ersteren Punct betrifft, so giebt folgende Betrachtung die nöthigen Anhaltspuncte. Es sei bq (Fig. 33) der Weg eines peripherischen Strahlenbündels nach der Brechung in einem aplanatisch gedachten Collectiv C oder, wenn man lieber will, diejenige Richtung, welche das gebrochene Bündel einschlagen müsste, um ein völlig correctes, d. h. mit dem dargebotenen Object übereinstimmendes reelles Bild zu liefern; ferner bp der Weg des nämlichen Bündels nach dem Durchgang durch eine einfache Collectivlinse von gleicher Brennweite oder, was damit gleichbedeutend ist, durch dasselbe Collectiv, nicht aplanatisch gedacht. Es ist nun ohne Weiteres klar, dass die Abweichung dieses letzteren Strahlenbündels nur dann vollständig ausgeglichen wird, wenn es nach dem Durchgang durch

das Ocular von einem Puncte zu kommen scheint, welcher der Richtung des Bündels bq nach einer aberrationslosen Brechung in der



Figur 33.

aplanatisch gedachten Ocularlinse entspricht. Ist das Auge auf unendliche Ferne eingestellt, so müssen folglich die beiden Strahlenbündel nach dem Austritt aus dem Ocular parallel verlaufen, was voraussetzt, dass der Parallelismus schon durch die Brechung an der unteren Linsenfläche hergestellt sei. An diesen einfachen Fall wollen wir unsere weiteren Betrachtungen anknüpfen.

Wir denken uns nun die Ocularlinse so gestellt, dass ihr Krümmungscentrum in die Mitte zwischen die Puncte p und q fällt. Alsdann werden beide Bündel so gut wie ohne Aberration und gleich stark gegen einander gebrochen, weil sie unter gleichen und sehr kleinen Winkeln (c. $1-1{,}5^0$) einfallen. Zur Herstellung des Parallelismus ist jetzt offenbar bloss nöthig, dass der Punct b, von welchem die Bündel ausgehen, in den Brennpunct der brechenden Fläche falle. Da nun der entsprechende Punct des Collectivbildes genau dieselbe Lage haben muss, um im virtuellen Bilde in unendlicher Ferne gesehen zu werden, so folgt daraus, dass der Aplanatismus unter den angenommenen Voraussetzungen nur hergestellt werden kann, wenn die Ocularlinse um ihre Brennweite vom Collectiv absteht und dem entsprechend das reelle Bild im Niveau des letzteren zu Stande kommt. Eine Vergrösserung dieses Abstandes bei gleicher Lage des Krümmungsmittelpunctes (man denke sich ein schwächeres Collectiv oder ein stärkeres Ocular) muss nothwendig die Convergenz, eine Verkleinerung die Divergenz der austretenden Strahlenbündel bedingen. Im ersteren Falle würde das aberrirende Bündel dem eingebildeten aberrationslosen zugebrochen, seine Verlängerung nach rückwärts entspräche einem der Axe zu nahe liegenden Punct: das virtuelle Bild müsste nach aussen zu schwächer vergrössert erscheinen. Im zweiten Fall ist die Wirkung entgegengesetzt; das Bündel trifft, rück-

wärts verlängert, einen von der Mitte zu weit abstehenden Punct: das Bild zeigt die entgegengesetzte Verzerrung.

60 Anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn der Krümmungsmittelpunct der Ocularlinse dieser letzteren näher liegt, als die Puncte p und q. Der Einfallswinkel des aberrirenden Lichtbündels wird nämlich in diesem Falle merklich grösser, als im vorhergehenden, und in Folge dessen die Aberration auch in der Ocularlinse spürbar; das Bündel wird stärker gegen die Axe gebrochen als das eingebildete aberrationslose. Würde jetzt der Ausgangspunct b der beiden Bündel um die Brennweite von der sphärischen Fläche abstehen, so müssten dieselben nach dem Durchgang durch das Ocular divergiren, während sie im vorhergehenden Fall parallel waren. Um den Parallelismus herzustellen, muss folglich der Abstand etwas grösser gewählt werden als die Brennweite, und zwar um so mehr, je grösser der Einfallswinkel des aberrirenden Bündels. Das reelle Bild kommt also nicht im Niveau des Collectivs, sondern über demselben zu Stande, — bekanntlich die gewöhnliche Einrichtung des Campani'schen Oculars.

Durch ein ähnliches Raisonnement lässt sich darthun, dass die Verschiebung des Krümmungsmittelpunctes nach rechts (was übrigens eine schwache Ocularlinse voraussetzt) für den Aplanatismus die Bedingung ergiebt, dass der Abstand der beiden Linsen kleiner sein muss, als die Brennweite der oberen. Das Ocular erhält in diesem Fall eine Einrichtung, welche im Princip mit der Ramsden'schen übereinstimmt, indem das reelle Bild vor die untere Linse fällt.

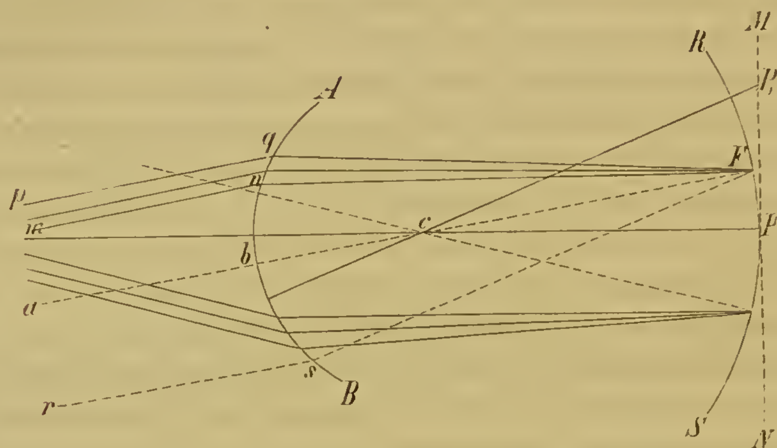
61 Es ist also nach dem Vorhergehenden möglich, einfache Linsen in verschiedener Weise zu einem unter den gegebenen Verhältnissen aplanatischen Systeme zu verbinden. Nur versteht sich von selbst, dass die strenge Erfüllung der Bedingungen im Allgemeinen nur für ganz bestimmte Bündel ausführbar ist, wie ja auch die Beseitigung der sphärischen und chromatischen Aberration im Objectiv sich theoretisch auf bestimmte Neigungen und Farben beschränkt. Ein Ocular, welches für violettes Licht aplanatisch ist, kann es für rothes in der Regel nicht mehr sein, weil sowohl die Lage des Krümmungscentrums als der gegenseitige Abstand der Linsen sich nach der Brechbarkeit der Strahlen richtet. Der Punct p in unserer Figur rückt nämlich, wie man leicht einsieht, um so weiter nach links, je grösser die Brechbarkeit der Strahlen, während q, wie wir annehmen dürfen, seine Lage nicht verändert; überdiess ist die Brennweite der Ocularlinse für jede Farbe eine andere. Die Störungen, welche hieraus für

die Brechung an der untern Fläche der Ocularlinse erwachsen, hängen natürlich mit vom Zerstreuungsvermögen des Glases ab; sie werden aber namentlich auch durch die jedesmalige Lage des Punctes *p* bedingt, in welchem die Verlängerungen der verschiedenfarbigen Bündel die Axe schneiden. Liegt *p* für alle Farben links vom Krümmungsmittelpunct, dann wird ein für violette oder mittlere Strahlen aplanatisches Ocular die Randpuncte des rothen Bildes noch etwas zu weit nach aussen rücken, weil der Divergenzpunct *b* für diese Farbe sich noch innerhalb der Brennweite befindet. Das Gesichtsfeld müsste also roth umsäumt erscheinen. Diese Farbenabweichung findet nun aber in der Brechung an der oberen Linsenfläche ein Gegengewicht, weil hier die violetten Strahlen stärker gegen die Axe abgelenkt werden, als die rothen. Man begreift auch, dass dieses Gegengewicht so lange vorwiegen muss, als sämmtliche Strahlen durch die Gesammtwirkung der Linse der Axe zugebrochen werden. Der rothe Saum des Gesichtsfeldes geht hienach im schliesslichen Bilde in einen blauen über.

Dasselbe Endresultat erhält man auch, wenn der Punct *p* sich für sämmtliche Farben rechts vom Krümmungscentrum befindet; allein da in diesem Fall die sphärische Aberration des unter grösserem Winkel einfallenden rothen Bündels mit dem Abstand der beiden Linsen wächst, so giebt es eine Grenze, wo sie der Farbenabweichung das Gleichgewicht hält. Darüber hinaus geht der blaue Rand des Gesichtsfeldes in einen rothen über. Da nun diese Grenzlage bei gegebenen Krümmungen einzig und allein vom Zerstreuungsvermögen der Gläser abhängt, so lässt sich unter allen Umständen eine Glassorte denken, welche die Herstellung des Aplanatismus für rothes und violettes Licht gleichzeitig gestattet. Und wenn z. B. das Kronglas diese Eigenschaft für eine bestimmte Linsencombination annähernd besitzt, so muss es möglich sein, durch kleine Aenderungen der Abstände und Krümmungen die noch vorkommenden Abweichungen auf ein Minimum zu reduciren. Wir gelangen also zu dem Schluss, dass die Ausgleichung der Farbenzerstreuung mit der Beseitigung der sphärischen Aberration vereinbar sei.

Was nun noch die Krümmung der Bildfläche betrifft, so 62
ist die gewöhnliche Darstellung, nach welcher das Collectivbild seine convexe Seite nach unten kehrt, eine irrthümliche. Gerade das Gegentheil findet statt. Man überzeugt sich hievon, indem man eine ebene, mit feinen Stäubchen bedeckte Glasplatte oder eine Mikrometertheilung auf die Blendung der Ocularröhre legt und die Ränder derselben im mikroskopischen Bilde mit denjenigen des Collectivbildes vergleicht.

Man findet alsdann, dass der Rand des Collectivbildes eine etwas tiefere Einstellung der Ocularlinse erfordert, als die gleich gelegenen Puncte der Glasplatte. Das Collectivbild muss also nach oben gewölbt sein. Es kann auch aus theoretischen Gründen sich unmöglich anders verhalten. Denn denken wir uns in *AB* (Fig. 34) eine brechende Fläche, welche alle mit der Axe *ac* parallelen Strahlen zwischen *pq* und *rs* im Brennpuncte *F* zur Vereinigung bringt, so werden natürlich



Figur 34.

auch die Strahlen des peripherischen Bündels *pqmn* nach diesem Puncte gebrochen. Ganz dasselbe gilt auch für jeden anderen Strahlencylinder und die mit ihm parallel verlaufenden Bündel. Und zwar ist der Abstand der verschiedenen Brennpuncte von der brechenden Fläche, auf der durch das Krümmungscentrum gehenden Cylinderaxe gemessen, und folglich auch der Abstand vom Krümmungscentrum selbst eine unveränderliche Grösse. Die Brennpuncte gehören demnach einer Kugelfläche an, deren Centrum mit dem der brechenden Fläche zusammenfällt.

Lassen wir jetzt die cylindrischen Strahlenbündel in schwach convergirende übergehen, so zwar, dass die Convergenzpuncte der verschieden geneigten Bündel gleich weit vom Krümmungscentrum der brechenden Fläche abstehen, so rücken ihre reellen Bildpuncte der brechenden Fläche etwas näher; sie bilden aber nach wie vor eine gekrümmte Fläche mit demselben Krümmungsmittelpunct. Auf das Collectiv übertragen heisst das: wenn das als virtuelles Object dargebotene Objectivbild eine nach oben convexe Krümmung zeigt, deren Centrum mit dem des Collectivs zusammenfällt, so erhält auch das durch die Brechung an der sphärischen Fläche erzeugte Bild eine damit parallele Krümmung.

Es lässt sich nun ferner zeigen, dass eine Krümmung in gleichem Sinne noch stattfindet, wenn das Objectivbild eben gedacht wird. Nehmen wir der Einfachheit wegen an, dasselbe falle in die Tangentialebene MN (Fig. 34) der erwähnten Brennfläche, und bezeichnen wir den Abstand des Objectpunctes P von der brechenden Fläche mit p und den des entsprechenden Bildpunctes mit p^*, ferner den Abstand des Objectpunctes P_1 und seines Bildpunctes mit p_1 und p_1^*, endlich die Brennweite mit f und den Krümmungsradius des Collectivs mit r. Dann ist nach Früherem $\frac{1}{p^*} = \frac{1}{f} + \frac{1}{p}$, folglich im gegebenen Falle $p^* = \frac{pf}{p+f} = \frac{1}{2}f = \frac{1}{2}p$, und wenn der Brechungscoefficient zu 1,5 angenommen wird, $p^* = \frac{3}{2}r$. Die Grösse p_1 ist durch die Proportion $(p_1 - r) : (p - r) = 1 : \cos\varphi$ bestimmt, wenn nämlich φ den Winkel $P_1 c P$ bezeichnet und der Radius der Brennfläche als Einheit gewählt wird. Man erhält hieraus 63

$$p_1 = r + \frac{p-r}{\cos\varphi} = r + \frac{2r}{\cos\varphi}\text{; folglich}$$

$$p_1^* = \frac{p_1 f}{p_1 + f} = \frac{\left(r + \frac{2r}{\cos\varphi}\right) . 3r}{r + \frac{2r}{\cos\varphi} + 3r} = \frac{3r}{2} . \frac{2 + \cos\varphi}{1 + 2\cos\varphi} .$$

Die Abstände p^* und p_1^* sind also beziehlich $\frac{3r}{2}$ und $\frac{3r}{2} . \frac{2 + \cos\varphi}{1 + 2\cos\varphi}$, folglich die Entfernungen der Bildpuncte vom Krümmungscentrum, die wir d^* und d_1^* nennen wollen, $\frac{1}{2}r$ und $\frac{3}{2}r . \frac{2 + \cos\varphi}{1 + 2\cos\varphi} . r$. Durch eine leicht zu übersehende Reduction erhält man

$$d_1^* = \frac{1}{2}r . \frac{4 - \cos\varphi}{1 + 2\cos\varphi} \text{ und hieraus}$$

$$d^* : d_1^* = 1 : \frac{4 - \cos\varphi}{1 + 2\cos\varphi} .$$

Befänden sich die beiden Bildpuncte in einer zur Mikroskopaxe senkrechten Ebene, so wäre das Verhältniss ihrer Entfernungen vom Puncte c offenbar gegeben durch $1 : \frac{1}{\cos\varphi}$; es fragt sich nun, ob das zweite Glied im ersten oder im zweiten Ausdruck grösser sei. Setzt man $\beta = 1 - \cos\varphi$, so ergiebt sich

$$\frac{4 - \cos\varphi}{1 + 2\cos\varphi} : \frac{1}{\cos\varphi} = \frac{3 + \beta}{3 - 2\beta} : \frac{3}{3 - 3\beta} .$$

In dieser letzteren Form stellen die beiden Werthe zwei Brüche vor, bei welchen der Zähler grösser ist, als der Nenner. Dabei sind Zähler und Nenner des ersteren Bruches um β grösser als im zweiten, folglich

$\frac{3+\beta 1}{3-2\beta} < \frac{3}{3-3\beta}$. Die Bildfläche ist also auch in diesem Falle gekrümmt und ihre convexe Seite nach oben gerichtet. Diese Krümmung ist freilich unter den gegebenen Verhältnissen so gut wie Null; denn die Grösse p_1^* fällt z. B., wenn $\varphi = 4^0$ und $r = 20^{m.m.}$ gesetzt wird, nur um circa 0,02 Mikromillimeter kleiner aus, als in dem eben gedachten Bilde. Dieselbe wird nun aber in Wirklichkeit noch durch den Umstand verstärkt, dass die brechende Fläche nicht, wie wir vorausgesetzt haben, aplanatisch, sondern mit der bekannten Abweichung wegen der Kugelgestalt behaftet ist. Sie wirkt also, wie bereits hervorgehoben wurde, auf die peripherischen Strahlenbündel, wie eine aplanatische Fläche von kürzerer Brennweite und rückt in Folge dessen die entsprechenden Bildpuncte etwas näher. Dadurch muss die Krümmung, auch wenn die Länge der sphärischen Aberration nur zu 0,1 der Brennweite angenommen wird, eine augenfällige werden.

64 Die Wirkung der Ocularlinse wurde bereits oben für einen bestimmten Fall erörtert. Es ergab sich, dass das von ihr entworfene Bild einer ebenen Fläche gekrümmt sein müsse, weil die peripherischen Puncte derselben weiter von den brechenden Flächenelementen abstehen, als die centralen. Eine solche Krümmung muss offenbar immer eintreten, wenn die sphärische Aberration, wie es bei einfachen Linsen der Fall ist, in gleichem Sinne wirkt. Das schliessliche virtuelle Bild eines gewöhnlichen Oculars kann also unmöglich eben sein, es sei denn, dass das Objectivbild selbst gekrümmt sei und seine convexe Seite nach unten kehre. Die günstigste Stellung der Ocularlinse wird immerhin diejenige sein, bei welcher die vom Collectiv kommenden Strahlenbündel unter möglichst kleinen Winkeln auf die sphärische Fläche einfallen.

Bei der Ramsden'schen Einrichtung des Oculars sind die Verhältnisse, welche auf die Krümmung influiren, verwickelter. Da hier die untere Linse ihre ebene Fläche dem reellen Objectivbilde zukehrt, so müsste das von ihr entworfene virtuelle Bild nach unten gewölbt sein, würde nicht die sphärische Aberration, welche nach Früherem in entgegengesetztem Sinne wirkt, das Uebergewicht erreichen. Das Letztere ist nun aber in der Regel der Fall, so dass die Gesammtwirkung des Oculars so ziemlich dieselbe bleibt, wie bei der Campani'schen Einrichtung.

In praktischer Hinsicht hat übrigens eine schwache Krümmung des Gesichtsfeldes wenig zu bedeuten. Es sind uns auch keine Oculare bekannt geworden, die aplanatischen von Plössl nicht ausgenom-

men, bei welchen dieselbe vollständig gehoben wäre. Das Hauptaugenmerk der Optiker ist mit Recht darauf gerichtet, vor Allem die Verzerrung der Bilder für die verschiedenen Farben möglichst zu beseitigen und die noch übrig bleibenden Abweichungen so zu reguliren, dass die rothen und violetten Bildpuncte sich wenigstens im mittleren Theil des Gesichtsfeldes vollkommen decken. Ist diess für eine bestimmte Tubuslänge erreicht, so muss das Ocular jedes beliebige Objectivbild bei gleicher Tubuslänge möglichst scharf wiedergeben.

VII.

Das Centriren der Linsensysteme.

Wir haben unseren bisherigen Betrachtungen über den Strahlen- 65
verlauf im Mikroskop durchgehends die Annahme zu Grunde gelegt, dass die brechenden Flächen ein genau centrirtes System bilden, d. h. dass ihre Krümmungsmittelpuncte sämmtlich in einer geraden Linie liegen. Der praktische Optiker wird auch stets bemüht sein, diese Annahme zu verwirklichen, allein das Höchste, was er erreicht, ist doch immerhin nur eine Annäherung, die namentlich bei den stärkeren Objectiven weit hinter dem Zustand der Vollkommenheit zurückbleibt. Es drängt sich daher die Frage auf, ob und in welcher Weise eine fehlerhafte Centrirung die Reinheit des Bildes beeinträchtige, und welche Abweichungen etwa vorzugsweise ins Gewicht fallen.

Nach der gewöhnlichen Ansicht ist die genaue Centrirung Bedingung des Aplanatismus. Schon eine geringe Abweichung, meint Harting*), müsse nothwendiger Weise sehr nachtheilige Folgen haben, und auch Mohl**) spricht sich dahin aus, dass eine Verzerrung des Bildes nach einer Seite hin damit verbunden sei. Diese Ansicht erscheint auf den ersten Blick auch sehr plausibel, ja sogar selbstverständlich; nichtsdestoweniger steht sie sowohl mit der Theorie als mit der Beobachtung, wie im Folgenden gezeigt werden soll, im Widerspruch.

Wir denken uns ein aus 3 Doppellinsen bestehendes, vollkom- 66
men centrirtes Objectivsystem, welches für alle Puncte eines Gesichtsfeldes von gegebenem Durchmesser möglichst aplanatisch ist, und

---

*) Harting, das Mikroskop p. 275.
**) Mohl, Mikrographie p. 176.

legen uns nun die Frage vor, welchen Einfluss eine kleine seitliche Verschiebung der Linsen auf die Gesammtwirkung des Systems ausübe. Es seien E_1 E_2 und E_3 (Fig. 35) die Hauptebenenpaare der 3 Doppellinsen, F_2 und F_3 die entsprechenden Brennebenen der beiden hinteren Linsen, o_1 o_2 und o_3 die optischen Axen, wovon die erste, wie wir voraussetzen, mit der Axe PQ des Mikroskops zusammenfällt, während die beiden andern nach rechts und nach links, parallel mit sich selbst, verschoben sind; endlich sei ab das Object, dessen einzelne Puncte bei genauer Centrirung gleich vollkommene Bilder liefern. Construirt man nun mit Hülfe der Richtungsstrahlen den Verlauf der Lichtbündel, welche von den Randpuncten a und b zum Objectiv gelangen, und vergleicht denselben mit dem Strahlenverlauf, wie er im genau centrirten System stattfinden müsste, so lassen sich die Nachtheile, welche die Verschiebung mit sich bringt, leicht überblicken. In unserer Figur beziehen sich die ausgezogenen Linien auf das nicht centrirte, die unterbrochenen dagegen auf das centrirte System. Die virtuellen oder reellen Bilder, welche die einzelnen Doppellinsen entwerfen, wurden bei ersterem mit $a'b'$, $a''b''$ und $a'''b'''$, bei letzterem mit gleich accentuirten griechischen Buchstaben bezeichnet. Die Lage dieser Bilder zur Axe ist natürlich schon durch die Richtung der nöthigenfalls rückwärts verlängerten Strahlen bestimmt; ihre Abstände richten sich nach den Brennweiten und sind selbstverständlich in beiden Fällen dieselben, sie wurden jedoch der grösseren Deutlichkeit wegen etwas verschieden angenommen. Es ist nun an und für sich klar, dass das virtuelle Bild $a'b'$ der ersten Linse durch die Verschiebung keine Veränderung erleidet. Nur insofern es Object ist für die zweite Linse, kommt sein rechter Rand b' in eine etwas ungünstigere Stellung, da er nunmehr um die Verschiebungsgrösse weiter von der optischen Axe o_2 absteht. Von diesem Randtheil entwirft demnach die Linse, wie sich mit Wahrscheinlichkeit annehmen lässt, ein weniger vollkommenes Bild. Der ganze übrige, weitaus grössere Theil dagegen erfüllt nach wie vor die Be-

Figur 35.

dingung, dass keines seiner Flächenelemente ausserhalb des Gesichtsfeldes fällt, für welches die zweite Linse möglichst aplanatisch ist. Macht man also $b'x$ der Verschiebungsgrösse gleich, so wird im Bilde $a''b''$ ein entsprechendes Stück $b''x$ unbefriedigend ausfallen, während $a''x$ seine ursprüngliche Schärfe behält. Nun fällt aber das ganze Bild, wie die Figur zeigt, etwas weiter nach rechts als vor der Vorschiebung, und zwar um eine Grösse, welche zu $b''x$ sich verhält, wie $a''b''$ zu $a''b''-a'b'$. Man hat, um sich hievon zu überzeugen, nur nöthig, durch b' und den oberen Hauptpunct der zweiten Linse in seinen zwei verschiedenen Lagen Linien zu ziehen, dieselben nach unten bis β'' und b'' zu verlängern und die in b' zusammenstossenden Dreiecke mit einander zu vergleichen.

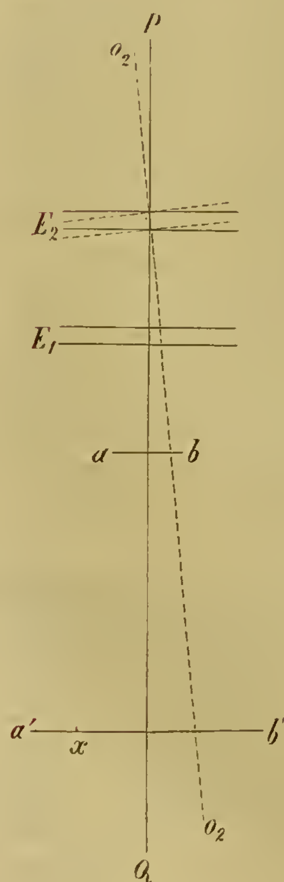
Das virtuelle Bild $a''b''$ nimmt also zur Axe o_3 im Allgemeinen eine veränderte Stellung ein. Nur wenn es zufällig gerade so weit, als diese Axe selbst, nach rechts rückt, bleibt natürlich die relative Lage dieselbe. Das reelle Objectivbild $a'''b'''$ erreicht in diesem speciellen Falle die grösstmögliche Schärfe; da jedoch das Stück $b''x$ des Objectes bereits undeutlich ist, so wird es im Bilde auch undeutlich wiedergegeben. Ist dagegen die Verschiebung des virtuellen Bildes grösser oder kleiner, als die der Axe, so kommt im ersten Fall auf der linken, im zweiten auf der rechten Seite ein entsprechender Randtheil des reellen Bildes unter weniger günstigen Bedingungen zu Stande und wird in Folge dessen weniger scharf. Das Stück $b'''x$ wird also möglicher Weise vom Rande her zum zweiten Male verundeutlicht.

So verwischt sich also mit jeder Verschiebung ein entsprechendes Randstück des Objectivbildes, so dass in Wirklichkeit, wenn die fehlerhafte Centrirung der Flint- und Kronglaslinsen ebenfalls in Rechnung gebracht wird, die ganze Peripherie des Gesichtsfeldes mehr oder weniger darunter leiden muss und folglich nur ein mittleres Stück, das jedoch eine beliebige excentrische Lage haben kann, sich in seiner ursprünglichen Reinheit erhält.

Um über die Grenzlinien, bis zu welchen die in unserer Figur dar- 67
gestellten Verschiebungen das mikroskopische Bild beeinträchtigen, einige Anhaltspuncte zu gewinnen, wollen wir annehmen, die erste Linse vergrössere 3mal, die zweite und dritte beziehlich 4 und 6mal — ein Verhältniss, welches mit einem wirklich beobachteten annähernd übereinstimmt. Die Verschiebung der Axe o_2 betrage 0,25, die der Axe o_3 0,50 m.m. Alsdann ist $b'x = 0,25$, $b''x = 1$, $b'''x = 6$ m.m.; ferner $\beta''b''$ (in der Richtung senkrecht zur Axe) $= (4 - 1) \times 0,25 = 0,75$ m.m. und folglich ein Stück von $6 \times (0,75 - 0,50) = 1,5$ m.m.

Breite im Objectivbilde, von b''' an gemessen, zum zweiten Mal verundeutlicht. Dieses Stück fällt jedoch, wenn die Blendung im Ocular unbeweglich gedacht wird, auf den Rand derselben; denn da $a''b''$ um 0,25 m.m. weiter nach rechts geschoben erscheint als o_3, so kommt das Objectivbild mit Rücksicht auf o_3 $6 \times 0{,}25 = 1{,}5$ m.m., also mit Rücksicht auf PQ oder auf $\alpha'''\beta'''$, dem Gesichtsfelde des Oculars im centrirten System, um $1{,}5 - 0{,}5 = 1$ m.m. weiter nach links zu liegen. (In der Figur ist das Verhältniss umgekehrt.) Beträgt der Durchmesser dieses Gesichtsfeldes, d. h. der Blendungsöffnung im Ocular, 18 m.m., so bleiben also von dem undeutlichen Stück $b'''x$ noch 5 m.m. sichtbar, während auf der andern Seite, zwischen a''' und α''' 1 m.m. der Oeffnung leer ausgeht und nur ausgefüllt werden kann, wenn das Object ab bei a einen kleinen Zuwachs von $\frac{1}{72}$ m.m. erhält. Dieser Zuwachs wird im Bilde $a'b'$ etwas weniger scharf, erleidet aber durch die folgenden Brechungen keine weitere Einbusse.

68 Die fehlerhafte Centrirung des Objectivsystems kann nun ferner auch darin bestehen, dass die optischen Axen mit der Axe des Mikroskops kleine Winkel bilden, — und das ist ein zweiter Punct, den wir zu erörtern haben. Seien wieder E_1 und E_2 (Fig. 36) die Hauptebenen der ersten und zweiten Doppellinse eines vollkommen centrirten Systems, PQ die gemeinsame optische Axe, ab das Object und $a'b'$ das virtuelle Bild der ersten Linse, also Object für die zweite. Wird jetzt diese letztere um einen ihrer Hauptpuncte gedreht, ohne dass dieser seinen Ort im Raume verändert, während die optische Axe $o_2 o_2$ aus der Richtung PQ heraustritt, so kommt dadurch das Stück $a'x$ des virtuellen Bildes, ähnlich wie im vorhergehenden Falle, in eine ungünstigere Stellung. Insoweit ist also die Wirkung die nämliche, wie bei der seitlichen Verschiebung der optischen Axe, nur dass die durch die Winkelabweichung verursachte Störung mit dem Abstande des Objectes zunimmt. Nun kommt aber noch hinzu, dass in Folge der Neigung der Linse auch das von ihr entworfene Bild geneigt erscheint, wodurch das schliessliche Objectiv-



Figur 36.

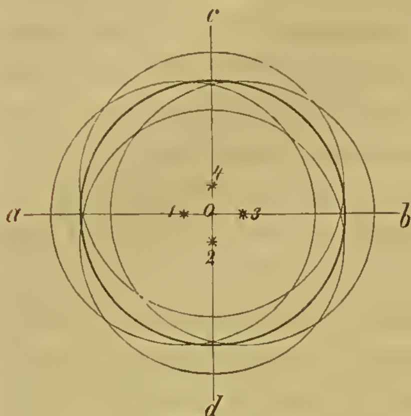
bild, auch wenn die Neigung durch entgegengesetzte Abweichungen wieder compensirt würde, jedenfalls nur verlieren, nicht gewinnen kann. Im Allgemeinen wirkt also die fragliche Abweichung der optischen Axen noch nachtheiliger als die blosse seitliche Verschiebung derselben; doch ist dabei zu berücksichtigen, dass beispielsweise ein Winkel von circa 2^0 dazu gehört, um bei einem Objectabstand von 7—8$^{m.m.}$, wie er etwa für die zweite Linse angenommen werden kann, der oben vorausgesetzten Verschiebung von 0,25$^{m.m.}$ aequivalent zu sein. Der Praktiker mag hiernach entscheiden, welche Art von Abweichungen leichter zu corrigiren sei.

Wenn beiderlei Abweichungen in einem Linsensystem vorkommen, so ist die resultirende Wirkung genau dieselbe, wie wenn zuerst eine Verschiebung der Axen parallel mit sich selbst und dann eine Neigung derselben oder auch umgekehrt, stattgefunden hätte. Die arithmetische Bestimmung der Störungen geschieht also einfach durch Addition der beiden Effecte, die im Vorhergehenden gesondert erörtert wurden.

Es ist also nach dem Angeführten allerdings richtig, dass eine fehlerhafte Centrirung auf das mikroskopische Bild einen schädlichen Einfluss übt. Dieser Einfluss beschränkt sich jedoch, wenn wir von der schwachen Neigung der Bilder gegen die Axe absehen, zunächst nur auf die Ränder des Gesichtsfeldes und erreicht erst bei stärkeren Abweichungen (die doch wohl zu vermeiden sein dürften) das Centrum desselben. Daher die bekannte Erscheinung, dass schwierigere Objecte im peripherischen Theil des Gesichtsfeldes fast durchgehends weniger deutlich gesehen werden, als in der Nähe des Mittelpunctes.

Zum Schlusse mag hier noch eine Betrachtung Platz finden, auf 69
welche wir später, wenn von der Prüfung der Centrirung die Rede ist, Bezug nehmen werden. Es soll gezeigt werden, welche Ortsveränderungen das Bild eines beliebigen Objectpunctes bei mangelhafter Centrirung erfährt, wenn das bilderzeugende Objectivsystem um die Axe des Mikroskops (*PQ* Fig. 36) gedreht wird. Wir gehen zu diesem Ende von den oben gewonnenen Ergebnissen aus, wonach eine Verschiebung der Linsen im Allgemeinen auch eine Verschiebung des Objectivbildes zur Folge hat. In dem angeführten Beispiel, wo die optischen Axen um 0,25 und 0,50$^{m.m.}$ nach rechts und links gerückt waren, betrug diese Verschiebung 1$^{m.m.}$ nach links. Denken wir uns nun das Objectiv auf der linken Seite mit einem Zeichen versehen, so ist einleuchtend, dass während der Drehung um die Axe *PQ* die Verschiebung immer in der Richtung stattfinden muss, welche

durch dieses Zeichen bestimmt ist. Der Mittelpunct des kreisförmigen Objectivbildes nimmt also zum Centrum *o* (Fig. 37) des von der Ocularblendung begrenzten Gesichtsfeldes, in welchem man sich ein Fadenkreuz *abcd* ausgespannt denken mag, nach einander die Stellungen ein, welche mit 1, 2, 3, 4 bezeichnet sind. Derselbe beschreibt also einen Kreis, welcher den Punct *o* zum Centrum und die Verschiebungsgrösse zum Radius hat. Ebenso beschreibt aber auch jeder andere Punct im Bilde, da ja seine Lage zum Mittelpuncte dieselbe bleiben muss, einen Kreis von gleichem Diameter, dessen Centrum mit dem entsprechenden Bildpunct des centrirten Systems zusammenfällt.



Figur 37.

Aehnliche Erscheinungen beobachtet man natürlich auch, wenn statt des ganzen Objectivs bloss einzelne ungenau centrirte Linsen um ihre Axe gedreht werden. Die Verschiebungen können sogar noch weit beträchtlicher ausfallen, weil Abweichungen, die sonst ein Gegengewicht bildeten, sich in Folge der Drehung zu anderen addiren. Es besteht überhaupt zwischen den Abweichungen der einzelnen Axen und der resultirenden Verschiebung des Objectivbildes keine so leicht zu übersehende Beziehung, wie man gewöhnlich annimmt. Wenn z. B. Harting angiebt, dass jede Abnormität sich genau so vielmal vergrössere, als das Object selbst, dass folglich eine Differenz von 10 Mik. in einem 500mal vergrösserten Bilde $5^{\text{m.m.}}$ ausmache, so ist das eine ganz irrthümliche Darstellung, die schon in dem angeführten Beispiel eine hinlängliche Widerlegung findet. Es ist im Gegentheil immer denkbar, dass sich die Mängel der Centrirung gegenseitig aufheben, so dass das resultirende Bild, obschon es an Schärfe verliert, doch keine Verschiebung erleidet.

VIII.

Die Lichtstärke des Mikroskops.

70 Die Lichtstärke eines Mikroskops ist zu definiren als diejenige Lichtmenge, welche dasselbe auf die Flächeneinheit der Netzhaut

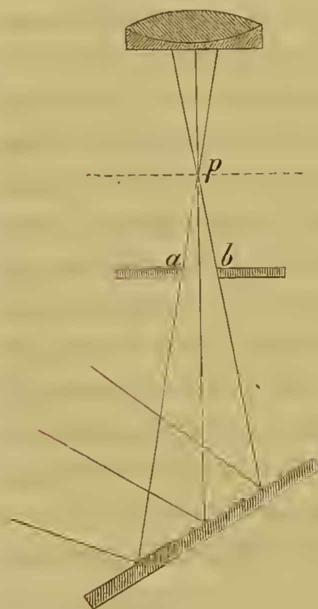
bringt, wenn als Object eine mit gewisser Intensität gleichmässig leuchtende Fläche dient. Als arithmetischer Ausdruck derselben mag das Verhältniss gelten, in welchem diese Lichtmenge zu derjenigen steht, welche dieselbe leuchtende Fläche bei unmittelbarem Sehen auf die Flächeneinheit der Netzhaut bringt. Diess ist bekanntlich eine von der Entfernung vom Auge unabhängige Grösse, da das Netzhautbildchen eines beliebigen Gegenstandes durch Veränderung der Objectdistanz in demselben Verhältniss grösser oder kleiner wird, in welchem die Oeffnung der von den einzelnen Puncten ausgehenden Lichtkegel zu- oder abnimmt. Die in den grösseren Strahlenbündeln enthaltene grössere Lichtmenge vertheilt sich also stets auf eine in demselben Verhältniss grössere Fläche der Netzhaut.

Es liesse sich nun denken, dass dieselbe Beziehung auch für das bewaffnete Auge fortbestehe, dass also die Vergrösserungszahl des Mikroskops mit dem Oeffnungswinkel der einfallenden Strahlenkegel in demselben Verhältniss steige und falle. Die Lichtstärke des Mikroskops wäre alsdann der Einheit gleich, d. h. wir würden damit die Gegenstände ebenso hell sehen, wie mit blossem Auge. Ein solcher Fall dürfte in Wirklichkeit auch bei den schwächsten Vergrösserungen nur selten vorkommen; für die stärkeren ist er jedenfalls eine Unmöglichkeit*). Der Durchmesser des mikroskopischen Bildes (und daher auch des Netzhautbildes) nimmt nämlich bei steigender Vergrösserung in einem viel rascheren Verhältniss zu, als die Oeffnungswinkel der einfallenden Strahlenkegel, welche von den Objectpuncten zum Objectiv und von da zum Auge gelangen. Beim Sehen mit blossem Auge beträgt dieser Winkel, wenn wir den Durchmesser der Pupille zu 2 bis 2½ m.m. und die Sehweite zu 250 m.m. festsetzen, 28—34 Minuten, also annähernd ½ Grad; beim mikroskopischen Sehen dagegen je nach der Stärke und Eigenthümlichkeit des Objectivs bis zu 80° und darüber. Von jedem Punct der Einstellungsebene

---

*) Nach Fick (Med. Physik pag. 489) lässt sich in aller Allgemeinheit und Strenge beweisen, dass man keine Combination von Linsen erdenken kann, durch welche gesehen ein Object heller erschiene, als mit freiem Auge gesehen. Wir wissen nicht, ob und in welcher Weise dieser Beweis wirklich geführt worden ist, müssen aber jedenfalls seine Allgemeinheit bezweifeln. Ein Objectiv von Ross mit 12,7 m.m. Brennweite und 60° Oeffnungswinkel giebt z. B. bei gewöhnlicher Tubuslänge eine Objectivvergrösserung von c. 13 Mal. Denken wir uns hiezu ein Ocular, welches die Vergrösserung auf 60 steigert, so wird die Lichtstärke ausgedrückt durch $v = 1.(\frac{60}{30})^2 = 4$. Das Object erscheint also jedenfalls heller, als bei der Beobachtung mit blossem Auge.

gelangt in diesem Fall eine Lichtmenge zum Auge, welche im Verhältniss von $80^2 : (\frac{1}{2})^2 = 160^2 : 1$ grösser ist als diejenige, welche das blosse Auge empfängt. Diese Lichtmenge vertheilt sich nun aber auf eine m^2mal grössere Fläche der Netzhaut, wenn m die lineare Vergrösserungszahl ist. Die resultirende Helligkeit des Gesichtsfeldes, die wir mit v bezeichnen wollen, wird also ausgedrückt durch $v = \frac{160^2}{m^2}$ oder ganz allgemein, wenn der Oeffnungswinkel des Objectes $= w$, derjenige des blossen Auges $= \frac{1}{2}$ gesetzt wird $v = 4\left(\frac{w}{m}\right)^2$. Die Lichtstärke ist hienach $= 1$, wenn $m = 2w$; sie ist kleiner als 1, wenn $m > 2w$, was offenbar der gewöhnliche Fall ist. Dabei ist selbstverständlich vorausgesetzt, dass der einfallende Strahlenkegel gross genug sei, um die ganze Oeffnung des Objectivs auszufüllen. Diese Bedingung wird jedoch bei der mikroskopischen Beobachtung bekanntlich nur selten erfüllt, da die Blendung die Neigung der einfallenden Strahlen beschränkt. An die Stelle von w tritt alsdann der Winkel apb (Fig. 38), unter welchem die Blendung ab vom Puncte p der Einstellungsebene aus gesehen wird. Ist dieser Winkel $= \delta$, so geht obiger Ausdruck über in $v = \left(\frac{2\delta}{m}\right)^2$. Bei der nämlichen Beleuchtung verhalten sich demnach die Helligkeiten des Gesichtsfeldes umgekehrt wie die Quadrate der linearen Vergrösserungszahlen. Wählen wir z. B. die Blendung so, dass $\delta = 30^0$, so werden die Vergrösserungszahlen 240, 300, 360, 420 etc., wie sie bei stärkeren Objectiven vorkommen, beziehungsweise die Helligkeiten $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{25}$, $\frac{1}{36}$, $\frac{1}{49}$ etc. ergeben. Steigern wir dagegen δ (nöthigenfalls vermittelst eines Beleuchtungsapparates) auf das Doppelte und Dreifache des angenommenen Werthes, so erreicht die Lichtstärke — immer vorausgesetzt, dass w wenigstens ebenso gross sei — beziehlich das Vier- und Neunfache obiger Brüche; diese erhalten daher bei gleichem Nenner die Zähler 4 und 9.



Figur 38.

Natürlich ist bei dieser Berechnungsweise der Lichtstärke stillschweigend vorausgesetzt, dass die vom Objecte ausgehenden Lichtkegel ohne Verlust ins Auge gelangen. Diese Voraussetzung ist inso-

fern richtig, als die aus der Ocularlinse hervortretenden Lichtbündel so verengt sind, dass sie die Pupille jedenfalls nie ganz ausfüllen und somit ungeschwächt die Netzhaut erreichen; sie lässt aber die durch Reflexion und Absorption verursachten Verluste unberücksichtigt. Wie viel die letzteren in einem gegebenen Falle betragen, lässt sich nicht leicht genau bestimmen; soviel aber ist sicher, dass sie nur einen kleinen Bruchtheil der berechneten Lichtstärke ausmachen und folglich der Richtigkeit des mathematischen Ausdrucks nicht wesentlich Eintrag thun.

IX.

Das optische Vermögen des Mikroskops.

Die Leistungsfähigkeit der Mikroskope steht bekanntlich mit der 71
Vergrösserungszahl keineswegs in einem proportionalen Verhältniss. Während die einen bestimmte Einzelnheiten und Formverhältnisse eines gegebenen Objectes beispielsweise schon bei 100maliger Vergrösserung erkennen lassen, bedarf es bei andern einer 150—200 maligen Vergrösserung, um dieselben zum Vorschein zu bringen. Dem entsprechend heben die stärksten Objective bei jenen noch Détails hervor, welche bei diesen, gleiche Brennweiten vorausgesetzt, nicht mehr wahrnehmbar sind. Auf diese Differenzen gründet sich nun der Begriff, den man gewöhnlich als optisches Vermögen bezeichnet; er umfasst alle die Eigenschaften, welche die Schärfe und Klarheit des mikroskopischen Bildes bedingen. Und zwar pflegen die Mikroskopiker zwei verschiedene Momente oder Richtungen desselben zu unterscheiden, die sich bei der Prüfung der Instrumente in abweichender Weise kundgeben, nämlich die sogenannte definirende und die penetrirende Kraft, die wir nun näher zu erörtern haben.

Man versteht unter definirender Kraft eines Mikroskops das Vermögen, Formen und Umrisse der Körper im Bilde scharf und bestimmt wieder zu geben, und unter penetrirender Kraft die Fähigkeit, feine Structurverhältnisse, wie die Schichten der Zellmembran, die Zeichnungen der Diatomaceenpanzer u. dgl., zur Wahrnehmung zu bringen. Diese Unterscheidung wurde zuerst von W. Herschel für die Teleskope aufgestellt und später von Goring auf die Mikroskope übertragen. Herschel machte nämlich darauf aufmerksam, dass Teleskope mit grösserer Oeffnung, auch wenn sie sonst fehlerhaft construirt seien, sich besonders dazu eignen, lichtschwache Nebelflecken

und Sterngruppen sichtbar zu machen, die mit kleineren Instrumenten von der besten Art nicht zu unterscheiden sind; diese letzteren werden dagegen leuchtende Puncte, die nur wenig von einander abstehen, wie z. B. die Doppelsterne, noch getrennt zeigen, während sie bei ersteren in einen Lichtpunct zusammenfliessen.

Die penetrirende Kraft oder das Durchdringungsvermögen steht also hienach mit der Grösse der Oeffnung, die definirende Kraft oder das Begrenzungsvermögen mit der genaueren Construction, d. h. mit dem Grad der Verbesserung der beiden Aberrationen im Zusammenhang. Es ist auch an und für sich klar, dass jedes optische Instrument, wie auch jedes unbewaffnete Auge, um so schärfer begrenzte Bilder liefert, je näher die Vereinigungspuncte der verschiedenfarbigen und verschieden geneigten Strahlen auf der Netzhaut zusammenfallen; dass dagegen kleine Verschiedenheiten der Leuchtkraft lichtschwacher Objectpuncte um so augenfälliger werden, je grösser die Lichtmenge, welche von solchen Puncten zur Netzhaut gelangt. Darum eben sehen Thiere mit weit geöffneter Pupille bei Nacht besser als der Mensch und treten Gegenstände in dunkeln Räumen auch für das menschliche Auge in dem Maasse deutlicher hervor, als die Pupille sich allmählich erweitert.

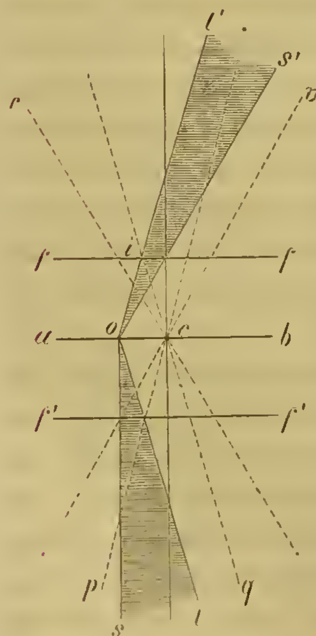
Die Unterscheidung der definirenden und penetrirenden Kraft, wie sie Herschel für die Teleskope aufstellte, ist also ganz allgemein für jeden optischen Apparat, das unbewaffnete Auge nicht ausgenommen, vollkommen begründet. Nur vergesse man nicht, dass die penetrirende Kraft eigentlich mit der Oeffnung der vom Objecte ausgehenden und zum Auge gelangenden Lichtkegel, nicht mit derjenigen des brechenden Apparats zu- und abnimmt. Es versteht sich von selbst, dass wenn die einfallenden Lichtbündel die Oeffnung des Objectivs nur theilweise ausfüllen, die absolute Grösse des unausgefüllten Theils völlig gleichgültig ist.

72 Untersuchen wir nun, ob und in welchem Sinne der Begriff der penetrirenden Kraft, wie er im Vorhergehenden festgestellt wurde, sich auf das Mikroskop übertragen lasse, und ob die Eigenschaften, die man mit obigem Ausdrucke zu bezeichnen pflegt, wirklich dem nämlichen Begriff entsprechen. Bei Teleskopen füllen natürlich die Lichtkegel, welche von den (meist selbstleuchtenden) Objectpuncten ausgehen, die Oeffnung des Objectivs vollständig aus. Eine Erweiterung dieser letzteren wirkt also wie für das unbewaffnete Auge die Erweiterung der Pupille. Das eine wie das andere hat aber nur dann einen Werth, wenn das von den Objecten ausgehende Licht sehr

schwach ist, wird dagegen in allen Fällen, wo die Leuchtkraft derselben eher zu gross als zu klein ist, sogar einen störenden Einfluss üben, da Apparate mit grösserer Oeffnung gewöhnlich auch mit stärkeren Aberrationen behaftet sind. Da nun bei der mikroskopischen Beobachtung eine beliebige Steigerung der Beleuchtung möglich ist — man könnte ja nöthigenfalls directes Sonnenlicht dazu verwenden — so kann die grössere Oeffnung des Objectivs von diesem Gesichtspuncte aus ganz und gar nicht in Betracht kommen. Bekanntlich sind denn auch die Blendungen der Beleuchtungsapparate so klein, dass die nach den Puncten der Einstellungsebene convergirenden Strahlen meist nur Kegel von c. 20—30 Grad Oeffnung bilden. Diese nämlichen Strahlen gruppiren sich aber, nachdem sie im Object eine Ablenkung erfahren, abermals in Lichtkegel, welche von den einzelnen Objectpuncten zu kommen scheinen und im Mikroskop deren Bild entwerfen. Die Oeffnung dieser Lichtkegel ist im Maximum, je nach der Stärke der Ablenkung, etwas grösser oder kleiner als die der einfallenden; die Differenzen sind aber so klein, dass sie für unsere Betrachtung vernachlässigt werden dürfen. Die zum Objectiv gelangenden Lichtkegel füllen also die Oeffnung desselben, wenn wir diese beispielsweise zu 60—80° annehmen, jedenfalls nur theilweise aus; sie sind unter den gegebenen Verhältnissen von der Grösse dieser Oeffnung durchaus unabhängig. Dadurch verliert aber die von Goring u. A. gezogene Parallele zwischen Teleskop und Mikroskop ihre Berechtigung. Was man bei dem letzteren penetrirende Kraft genannt hat, nämlich die Fähigkeit, feine Structurverhältnisse, Strichelchen, Pünctchen etc. zur Wahrnehmung zu bringen, ist auch in der That, wie schon Harting mit Recht hervorgehoben, etwas ganz anderes, als das raumdurchdringende Vermögen der Teleskope. Man würde, wenn man durchaus an der Parallele festhalten wollte, das Unterscheidungsvermögen der Mikroskope richtiger mit der Eigenschaft der Fernröhre vergleichen, Doppelsterne in getrennte Puncte aufzulösen.

Es kann sich jetzt nur noch um die Frage handeln, in welcher 73
Weise, da doch die einfallenden Lichtkegel vom Oeffnungswinkel des Objectivs unabhängig sind, dennoch die Grösse dieses Winkels auf das mikroskopische Bild Einfluss übe. Man könnte zunächst auf die Vermuthung kommen, die Wirkung der grösseren Oeffnung beruhe vielleicht auf einer günstigeren Vertheilung von Licht und Schatten, da es eine bekannte Thatsache ist, dass Oeltropfen, Stärkekörner u. dergl. bei schwächerer Vergrösserung einen starken Randschatten

werfen, während derselbe bei Anwendung stärkerer Objective mit grösserem Oeffnungswinkel verschwindet. Es liesse sich nun denken, dass durch grössere Ausbreitung der Lichtpartieen gewissermaassen ein Gleichgewicht zwischen Hell und Dunkel hergestellt würde, in dem Sinne, dass z. B. bei gestreiften Objecten Schatten- und Lichtlinien nahezu gleiche Breite erhielten und in Folge dessen auch leichter zu unterscheiden wären. Allein eine solche Erklärung ist aus zwei Gründen nicht stichhaltig. Einmal giebt es Probeobjecte genug, wo die Lichtpartieen im Bilde ein solches Uebergewicht haben, dass eine Verkleinerung derselben nur vortheilhaft wirken müsste, und doch ist ihre Auflösung nur durch Objective mit grossem Oeffnungswinkel möglich. Sodann hängt, wie später ausführlicher gezeigt werden soll, die Vertheilung von Licht und Schatten nicht allein vom Objectiv, sondern auch von der Grösse der Blendung ab. Der Ablenkungswinkel der Strahlen, welche den Grenzpuncten des Kern- und Halbschattens entsprechen, wird stets durch Formeln bestimmt, in welchen die beiden Oeffnungswinkel w und δ nur als Summe oder als Differenz auftreten, und wenn nun auch die Grenzpuncte selbst dadurch noch nicht mathematisch gegeben sind, so ist doch ihre Lage nahezu dieselbe, wie wenn die Brechung durch eine aequivalente, unendlich dünne Linse im Niveau des Objectes stattfände. Jedenfalls ist es für unsere Betrachtung erlaubt, an die Stelle der brechenden Flächenelemente einer Membran, z. B. einer Diatomaceenschale, eine solche Linse zu substituiren, ohne dadurch die Richtigkeit der Schlüsse irgendwie zu beeinträchtigen. Alsdann ist es aber für die Theorie vollkommen gleichgültig, ob man mit einem Objectiv von 60° eine Blendung von 30°, oder umgekehrt ein Objectiv von 30° mit einer Blendung von 60° Oeffnung combinire. Das Bild müsste in beiden Fällen bis auf unmerkliche Differenzen dasselbe sein.



Figur 39.

Wir wollen diese Folgerung noch durch eine Figur veranschaulichen. Sei ab (Fig. 39) die aequivalente Linse, c ihr Mittelpunct und ff, $f'f'$ ihre beiderseitigen Hauptbrennebenen, welche folglich die durch c gehende Senkrechte in den Hauptbrennpuncten schneiden, ferner $rcv = 60^0$ der

Oeffnungswinkel des Objectivs und $pcq = 30^0$ der Oeffnungswinkel der Blendung. Dann lässt sich der Gang der Strahlen nach den in der Einleitung mitgetheilten Principien leicht bestimmen. Der durch den Brennpunct parallel mit *vc* gezogene Strahl verläuft nach der Brechung parallel mit der Axe; der von unten parallel mit *qc* einfallende Strahl wird so gebrochen, dass er die obere Brennebene mit der Verlängerung von *qc* in demselben Puncte schneidet. Dadurch sind die Randstrahlen der zur Beleuchtung des Punctes *o* beitragenden Lichtkegel, des einfallenden und ausfahrenden, bestimmt. Alle Strahlen, welche nach rechts oder links stärker abweichen, als die gezeichneten, treffen entweder auf den Rand der Blendung oder auf denjenigen des Objectes. Ebenso leicht lassen sich die wirksamen Lichtkegel für beliebige andere Puncte construiren. Der Grenzpunct des Kernschattens ist z. B. durch eine Linie bestimmt, welche parallel mit *vc* durch *i* gezogen wird.

Denkt man sich nun die Figur um 180^0 gedreht, so dass das, was jetzt oben ist, unten zu stehen kommt, so giebt dieselbe Construction, wie leicht einzusehen, den Strahlenverlauf für den Fall, dass die Blendung 60 und das Objectiv nur 30^0 Oeffnung besitzt. Die Grenzlinien zwischen Licht und Schatten bleiben dabei selbstverständlich nach wie vor dieselben, und wenn die vom Objecte ausgehenden Lichtkegel nach der Brechung im Objectiv homocentrisch bleiben, was wir natürlich für beide Fälle annehmen, so ist kein Grund vorhanden, welcher irgend eine merkliche Aenderung, sei es der Schärfe oder der Lichtstärke etc., im Bilde erklären könnte. Es ist demnach vollkommen richtig, dass die Grösse des Oeffnungswinkels bei Objectiven, theoretisch betrachtet, nicht mehr und nicht weniger zu bedeuten hat, als die Grösse der Blendungsöffnung. Die Vorzüge, welche jener voraus hat, — so schliessen wir weiter — können folglich nur praktischer Natur sein.

Um das Nähere hierüber festzustellen, verweisen wir noch ein- 74
mal auf die in Fig. 39 gegebene Construction des Strahlenganges. Ist *t′os′* der vom Object ausgehende Lichtkegel, so treffen seine Randstrahlen, und also auch alle übrigen, den peripherischen Theil des Objectivs; das Centrum des letzteren geht leer aus. Kehrt man dagegen die Figur um und betrachtet *sot* als den vom Objecte kommenden Lichtkegel, so sind hier alle Neigungen von 0^0 bis 15^0 vertreten; derselbe füllt also die halbe Oeffnung des Objectivs aus. Da nun das Experiment zeigt, dass alle stärkeren Objective mit grossem Oeffnungswinkel, soweit wenigstens unsere Beobachtungen reichen, für

Centralstrahlen bis zu 15° Neigung und darüber weit weniger aplanatisch sind, als für Randstrahlen von c. 45° bis 60°, so erklärt sich hieraus die Differenz in der Schärfe des mikroskopischen Bildes. Die Bedeutung des Oeffnungswinkels liegt also nur darin, dass der Optiker, wie es scheint, die Aberrationen leichter für schief auffallende Lichtkegel, als für gerade, zu beseitigen im Stande ist oder wenigstens, da er Beides zugleich nicht erreicht, das erstere vorzieht. Aber es unterliegt keinem Zweifel, dass der Erste, welcher den nämlichen Verbesserungsgrad für die mittleren Strahlen, wäre es auch nur bis zu 12 oder 15° Neigung erreicht, Objective liefern wird, die bei richtiger Beleuchtung ganz dasselbe leisten, wie solche mit 80—120° Oeffnung.

75 Halten wir jetzt nach diesen Erörterungen die beiden Begriffe, welche man als penetrirende und definirende Kraft zu unterscheiden beliebt hat, noch einmal gegeneinander, so fliessen sie, streng genommen, in einen zusammen. Das Mikroskop entwickelt, abgesehen von der Lichtstärke und der Vergrösserungsziffer, keine andere Kraft und kann keine andere entwickeln, als diejenige, welche mit der Verbesserung der beiden Aberrationen gleichen Schritt hält. Wo diese Verbesserung sich gleichmässig auf alle Strahlen bezieht, so dass z. B. ein einfallender Lichtkegel von 10° Oeffnung eine gleich günstige Brechung erfährt, er mag die Mitte oder den Rand der Objectivlinse treffen, da kann von einem Unterschied zwischen penetrirender und definirender Kraft auch in der Praxis nicht die Rede sein. Das Instrument ist nach beiden Richtungen gleich vollkommen oder unvollkommen. Ist dagegen die Mitte des Objectivs in höherem Grade aberrationsfrei, so hängt es rein von der Natur des Objectes und von der Beleuchtung ab, ob diese Eigenschaft dem mikroskopischen Bilde zu Gute komme oder nicht. Gerade Beleuchtung und eine kleinere Blendung vorausgesetzt, wird z. B. ein schwarzer Fleck von Tusche auf dem Objectträger, in welchen man mit der Nadel feine Puncte oder Linien gezeichnet hat, ein möglichst scharfes Bild liefern, weil sämmtliche dazu beitragende Lichtkegel durch die Mitte des Objectivs gehen. Dagegen vermag ein solches Objectiv die schwierigeren Probeobjecte nicht befriedigend zu lösen, weil gerade die Strahlenkegel, welche im Bilde den Grenzzonen zwischen Licht und Schatten entsprechen, in Folge der Ablenkung im Object durch den peripherischen Theil des Objectivs gehen und daher ein so verwischtes Bild liefern, dass die Lichtpartieen übereinander greifen. Nur die Begrenzung des ganzen Objects wird ziemlich bestimmt ausfallen, weil die die Ränder streifenden Lichtkegel, wie im vorigen Falle, die Mitte

des Objectivs treffen. Sowie man aber diese begrenzenden Lichtbündel durch Anwendung einer ringförmigen Blendungsöffnung nach dem Rande zu lenkt, erfährt dadurch auch die »definirende Kraft« eine entsprechende Abnahme.

Auf diese Weise lassen sich alle Erscheinungen, welche nach 76
der bisherigen Annahme mit der definirenden oder penetrirenden Kraft im Zusammenhange stehen, in höchst einfacher und befriedigender Weise erklären. Es sind stets die Randstrahlen, welche »penetriren« und die Centralstrahlen, welche »definiren«, aber beide thun eigentlich dasselbe. Um hierüber keinen Zweifel aufkommen zu lassen, wollen wir zu dem bereits erwähnten noch einige Beispiele hinzufügen. Die Probeobjecte, welche von Goring und v. Mohl zur Prüfung der definirenden Kraft benutzt wurden, haben fast alle die Eigenschaft mit einander gemein, dass gewisse Stellen entweder wirklich undurchsichtig sind oder in Folge eingelagerter Luft oder eigenthümlicher Formverhältnisse genau wie undurchsichtige wirken. Die Lichtstrahlen, welche vom Spiegel nach den Objectpuncten convergiren, gelangen entweder ohne merkliche Ablenkung zum Objectiv, oder der Weg dahin wird ihnen gänzlich abgeschnitten. Diess gilt zunächst für alle Objecte, wo es sich nur um den äusseren Umriss, d. h. um die Abgrenzung vom Gesichtsfeld handelt. Zwar ist die dunkle Linie, welche diesen Umriss bildet, an und für sich von der Natur des Objectivs unabhängig, weil sie ja nicht durch bestimmte Lichtbündel, sondern durch einen Lichtausfall zu Stande kommt; sie kann aber offenbar nur da scharf und bestimmt hervortreten, wo die angrenzenden Puncte des Gesichtsfeldes scharfe Bilder liefern. Da nun das Gesichtsfeld durch Lichtkegel erhellt wird, welche bei gerader Beleuchtung die Mitte des Objectivs treffen, so ist einleuchtend, dass die Schärfe der Umrisse wesentlich von der Brechung der mittleren Strahlen abhängt. Dasselbe Raisonnement findet natürlich auch auf die dunkeln Stellen im Innern der Objecte Anwendung, wofern nur die hellen Puncte der nächsten Umgebung sich annähernd wie die Puncte des Gesichtsfeldes verhalten. Es gilt z. B. für die kleinen, eiförmigen Schüppchen von Lycaena Argus, wo die dunkeln Puncte scharf und deutlich getrennt gegen den helleren Grund abstechen sollen, ferner für die thierischen Haare mit abwechselnd hellen und dunkeln Stellen (wenigstens für die Mitte der zugekehrten Seite), für dicht gedrängte, durchgehende Poren in zarten Membranen u. s. w. Man darf ganz allgemein behaupten, dass die fraglichen Testobjecte zur Prüfung der »definirenden Kraft« um so geeigneter

sind, je weniger die Lichtkegel, welche nach dem Durchgang durch das Object vom Rande der dunkeln Stellen, Linien oder Puncte zu kommen scheinen, gegen die Axe des Mikroskops geneigt sind, je weniger also der peripherische Theil des Objectivs bei der Brechung derselben betheiligt ist.

77 Man begreift nun auch, warum bei Objectiven mit grösserem Oeffnungswinkel bald die Abhaltung der Centralstrahlen, bald die der Randstrahlen die Schärfe des Bildes erhöht, indem dadurch derjenige Theil der brechenden Fläche ausser Wirksamkeit kommt, welcher am wenigsten aberrationsfrei ist. Nur dürfte es in der Regel vortheilhafter sein, die betreffenden Blendungen am Objectiv selbst (sei es unter der Vorderfläche, was jedenfalls am besten wäre, oder hinter der letzten Fläche oder zwischen den Linsen), statt am Beleuchtungsapparat anzubringen.

Eine solche verbessernde Einrichtung am Objectiv wurde schon von Harting (Mikr. p. 254) vorgeschlagen; derselbe ist sich jedoch über den zu erreichenden Zweck nicht ganz klar, da er ganz allgemein gewöhnliche Blendungen mit grösseren und kleineren Oeffnungen empfiehlt, welche nur die Mitte des Objectivs frei lassen. Es versteht sich von selbst, dass dadurch unter Umständen gerade der bessere Theil der brechenden Fläche abgeschnitten würde.

Aus dem Angeführten geht auch hervor, dass die gewöhnlichen Probeobjecte, die Nobert'schen Probetäfelchen mit inbegriffen, nur im Allgemeinen über das optische Vermögen des peripherischen Theils der Objective Aufschluss geben, ohne dass damit für Strahlen verschiedener Neigung der Grad der Verbesserung relativ bestimmt werden könnte. Viel besser müssten sich hiezu helle Liniensysteme auf dunkelm Grunde, z. B. auf einem mit einer schwarzen Substanz überzogenen Objectträger eignen, wobei aber das Glas selbst nicht geritzt sein dürfte. Die nach der Einstellungsebene zielenden Lichtkegel wären alsdann den von hier ausfahrenden hinsichtlich der Neigung und Oeffnung vollkommen gleich, und man hätte es in seiner Gewalt, durch Anwendung geeigneter Blendungen nach Belieben senkrechte Strahlenbündel oder mehr oder weniger geöffnete Strahlentrichter mit ringförmigem Querschnitt zum Objectiv gelangen zu lassen. Die Zu- und Abnahme des optischen Vermögens in den verschiedenen concentrischen Zonen des Objectivs könnte nach dieser Methode leicht und sicher festgestellt werden. Die Frage ist nur, ob sich solche Liniensysteme, sei es nun auf Glas oder auf Collodium mittelst der Photographie oder auf irgend einem anderen Wege herstellen lassen.

Für die schwächeren Objective, deren Durchmesser es erlaubt, beliebige Zonen durch passende Blendungen zuzudecken oder offen zu lassen, lässt sich übrigens eben so gut das von einer Luftblase entworfene Bild eines Drahtgeflechtes benutzen, welche Methode in einem folgenden Kapitel ausführlich besprochen werden soll.

X.

Von der Beleuchtung.

Es ist nicht unsere Absicht, hier alle die verschiedenen Beleuch- 78
tungsapparate für durchfallendes und auffallendes Licht, wie sie von diesem oder jenem Optiker hergestellt werden, ausführlich zu besprechen. Wer hierüber Belehrung wünscht, findet dieselbe im ausgedehntesten Maasse in den bekannten mikrographischen Werken von Mohl, Harting u. A. Was uns zunächst wichtiger erscheint, ist die Klärung der meist sehr unklaren Begriffe, die man sich gewöhnlich über den Einfluss der Beleuchtungsapparate macht, indem man ihnen Eigenschaften und Vorzüge zuschreibt, die sie unmöglich haben können*). Wir stellen uns daher vorzugsweise die Aufgabe,

---

*) Es dürfte nicht ganz überflüssig sein, einige Ansichten, welche über den Einfluss der Beleuchtung auf die Wahrnehmung mikroskopischer Détails ausgesprochen wurden, zusammenzustellen. Sie beweisen am besten, wie unklar die Vorstellungen waren, die sowohl Optiker als Mikroskopiker sich über diesen Punct gemacht haben. Schleiden sagt pag. 103 seiner »Grundz. d. wiss. Bot.« wörtlich: »Man macht ihn (den Beleuchtungsspiegel) plan oder concav, und zwar letzteres so, dass der von ihm ausgehende Lichtkegel genau die Oeffnung des Tisches ausfüllt . . . . Wo möglich ist die Beleuchtung mit dem Planspiegel vorzuziehen; zwar ist hier die Lichtmenge nicht so gross, aber der Parallelismus der Strahlen ist entschieden für die Sicherheit der Beobachtung vortheilhafter. Es scheint nämlich, als ob durch die Convergenz der Strahlen beim Hohlspiegel in dem Bilde Verschiebungen veranlasst werden können. Ich bin oft auf diese Erscheinungen aufmerksam geworden, gestehe aber, dass ich nichts darüber zu sagen weiss, da die Optiker uns hier ganz im Stiche lassen.« Frühere Autoren, wie Wollaston, Brewster, Dujardin hielten dagegen convergirendes Licht für das günstigste und die beiden letzteren glaubten sogar, das Object müsse sich genau im Brennpuncte der convergirenden Strahlen befinden. Nach Pritchard endlich sollen schwierige Probeobjecte nur bei divergirendem Lichte gut gesehen werden. Harting, welcher diese Anschauungen erwähnt, erklärt dieselben aus dem verschiedenartigen Einfluss der Objecte auf den Gang der Lichtstrahlen und stellt seinerseits die eklektische Ansicht auf, die Beleuchtung müsse bald durch paralleles, bald durch convergirendes oder divergirendes Licht geschehen, je

die für das Verständniss und die Anwendung der verschiedenen Beleuchtungsarten erforderliche theoretische Grundlage festzustellen.

1. Beleuchtung mit durchfallendem Licht.

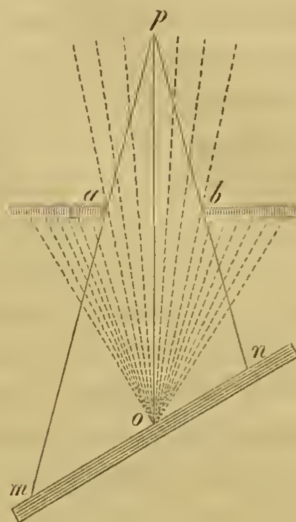
79 Der wichtigste und allein unentbehrliche Bestandtheil jedes Beleuchtungsapparates für durchfallendes Licht ist der Spiegel. Um seine Wirkung theoretisch festzustellen, denken wir uns denselben in die Strahlung einer unbegrenzten oder wenigstens sehr ausgedehnten und auf allen Puncten gleichmässig leuchtenden Lichtquelle eingetaucht. Jedes Element der spiegelnden Fläche wird alsdann nach eben so vielen Richtungen Licht aussenden, als es Licht empfängt. Wenn wir daher von der äusserst geringen Differenz der Verluste absehen, welche die unter ungleichen Winkeln reflectirten Strahlen erleiden, so wirkt der Spiegel mit Rücksicht auf die Einstellungsebene des Mikroskops genau so, wie eine selbstleuchtende Fläche und jedes Flächenelement desselben wie ein selbstleuchtender Punct. Dabei ist es vollkommen gleichgültig, ob derselbe eben, hohl oder erhaben sei, da ja die Leuchtkraft des einzelnen Flächenelements von seiner Neigung gegen die Axe des Instruments unabhängig und folglich die Helligkeit der ganzen Spiegelfläche dieselbe ist, ob diese Neigung sich von Element zu Element ändere oder constant bleibe. Ein beliebiges Flächenelement der Einstellungsebene p (Fig. 40) wird daher, wenn ab die Blendung darstellt, von Strahlen beleuchtet, welche von den Puncten der Spiegelfläche zwischen m und n ausgehen. Von dem ganzen nach oben divergirenden Lichtkegel, welchen jeder einzelne dieser Puncte aussendet (in der Figur wurde derselbe für den Punct o angedeutet) wirkt aber nur ein unendlich schmaler Theil mit, dessen

---

nachdem die besonderen Umstände und die Art des Objeets diess verlangen. Weiterhin, bei Besprechung der Mittel, durch welche angeblich die gewünschte Strahlenrichtung hergestellt werden soll, wird unter Anderem bemerkt, dass die Form des ebenen Spiegels gleichgültig sei, der Hohlspiegel dagegen müsse natürlich rund sein. G o r i n g war in Betreff dieses letzteren Punctes anderer Ansicht. Er legte einen grossen Werth darauf, dass der Beleuchtungsspiegel elliptisch und nicht kreisförmig sei, damit er von oben gesehen sich kreisförmig darstelle. Zugleich gab er demselben eine wahrhaft colossale Grösse (beinahe 5″ Länge bei 4″ Breite), um dadurch die Lichtstärke des Bildes zu steigern.

Wir denken, der unbefangene Leser wird aus der folgenden Darstellung die Ueberzeugung gewinnen, dass die einfallenden Strahlen, welche zur Beleuchtung der Flächenelemente des Gesichtsfeldes beitragen, immer convergiren und dass irgend eine bestimmte Form beim Hohlspiegel ebensowenig als beim Planspiegel geboten ist.

Basis p ist. Die Intensität der Beleuchtung wird demnach, insofern die Spiegelfläche hinreichend ausgedehnt ist, durch die Blendung ab bedingt, weil hievon die Oeffnung des einfallenden Lichtkegels mpn abhängt. Es ist aber vollkommen gleichgültig, ob die spiegelnde Fläche dem Gesichtsfeld näher oder ferner stehe; denn wenn auch die Lichtstärke eines Flächenelementes im quadratischen Verhältniss der Entfernung sich ändert, so wird im nämlichen Verhältniss auch die Zahl derselben grösser oder kleiner. Die Gesammtlichtmenge bleibt also nach wie vor dieselbe.

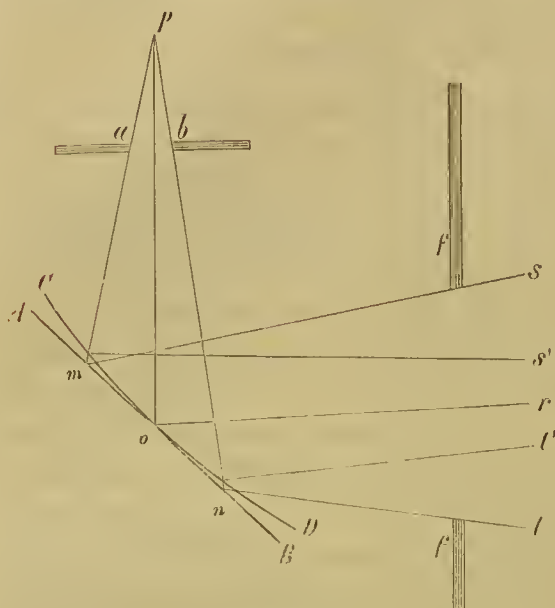


Figur 40.

Es folgt auch aus dem Vorhergehenden, dass ein Hohlspiegel die Einstellungsebene gleich gut erhellt, mag sein Brennpunct in diese Ebene selbst oder ausserhalb derselben zu liegen kommen, jedoch immer unter der Voraussetzung, dass seine Oberfläche eine gewisse, durch die Blendung bestimmte Grenze der Kleinheit nicht übersehreite. Da nämlich die Krümmung des Spiegels, wie oben gezeigt wurde, ohne allen Einfluss ist, so hat auch die Lage des Brennpunctes keinerlei optische Bedeutung.

Sehen wir jetzt zu, bis zu welchem Grade die Bedingung einer 80
unbegrenzten (d. h. über die durch die Blendung bestimmten Grenzen hinausgehenden) und gleichmässig leuchtenden Lichtquelle in der Praxis erfüllt wird. Ist das Mikroskop in der Nähe eines Fensters aufgestellt und der Spiegel gegen den hellen Himmel gekehrt, so hat man, um obiger Bedingung zum mindesten sehr annähernd Genüge zu leisten, bloss dafür Sorge zu tragen, dass die Strahlenbündel, welche die Beleuchtung des Gesichtsfeldes vermitteln, wenn man sie rückwärts zur Spiegelfläche und von da nach der Lichtquelle verfolgt, diese letztere ohne Schwächung erreichen. Sind z. B. pm und pn (Fig. 41) zwei Grenzstrahlen, welche den Rand der Blendung ab streifen, so werden dieselben von der ebenen Spiegelfläche AB nach s und t, von der concaven CD nach s' und t' reflectirt, während der centrale Strahl po in beiden Fällen nach r geht. Treffen nun die Strahlen s und t in der Wand ff die nämliche Fensterscheibe, oder liegt ganz allgemein zwischen den Richtungen derselben kein Hinderniss, so werden auch alle zwischenliegenden Strahlen, welche zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes beitragen, sich ohne Verlust nach

der Lichtquelle, dem hellen Himmel, fortbewegen und folglich auch in umgekehrter Richtung ohne Verlust das Gesichtsfeld erreichen. Ob sie auf diesem Wege, je nach der Krümmung des Spiegels, divergiren, convergiren oder parallel verlaufen, ist natürlich vollkommen gleichgültig, wofern nur ein hinreichend grosses Stück des Himmelsgewölbes gleichmässige Beleuchtung zeigt. Finden sich dagegen auf dem Wege zwischen dem Gesichtsfelde und der Lichtquelle irgend welche Hindernisse, welche unter den angenommenen Verhältnissen einen Lichtausfall herbeiführen, so erhalten Form und Stellung der Spiegelfläche ihre Bedeutung. Es wirkt alsdann diejenige Combination am günstigsten, welche das fragliche Hinderniss zu umgehen oder wenigstens den dadurch verursachten Verlust am vollständigsten zu vermeiden gestattet. Ist z. B. eine bestimmte Stelle am Himmel intensiver beleuchtet, als die benachbarten, so giebt ein Concavspiegel, welcher die von dort kommenden Lichtstrahlen in p vereinigt, ein Maximum der Helligkeit. Ebenso wird für jede andere Lichtquelle von relativ geringer Ausdehnung, wie z. B. eine Lampenflamme, ein weisses Stück Mauer u. dgl., der Hohlspiegel mit Rücksicht auf Stärke der Beleuchtung den Vorzug verdienen, und zwar müsste derselbe stets so gestellt sein, dass Lichtquelle und Gesichtsfeld annähernd in conjugirten Vereinigungsweiten davon abständen.



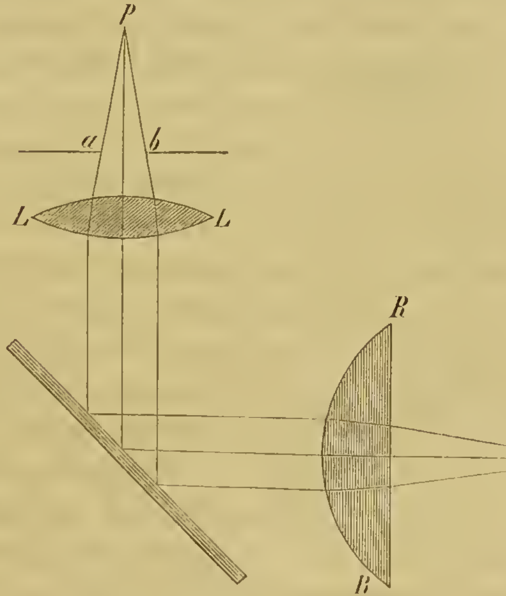
Figur 41.

Die Grösse des Spiegels kommt selbstverständlich erst dann in Betracht, wenn der Rand ganz oder zum Theil innerhalb der Grenze liegt, bis zu welcher seine Oberfläche bei gegebener Oeffnung der Blendung optisch wirksam sein könnte. Denken wir uns die Blendung ganz weg, so bildet die Spiegelfläche die Basis des einfallenden Lichtskegels, und die Oeffnung desselben wird dann um so grösser, je kleiner der Abstand vom Gesichtsfeld.

Alles das beruht, wie man sieht, auf den einfachsten Gesetzen

der Optik. Es ist daher um so unbegreiflicher, wenn selbst in den neueren mikrographischen Werken von parallelem oder gar divergirendem Licht die Rede ist, welches je nach Umständen zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes (d. h. doch wohl seiner Flächenelemente) verwendet werden soll. Das Licht, welches einen bestimmten Punct des Gesichtsfeldes erhellt, ist ja immer convergirend, d. h. die vom Spiegel ausgehenden Strahlen kreuzen sich in dem betreffenden Punct und divergiren von da aus gegen das Objectiv. Es scheint uns überflüssig, die gegentheilige Annahme hier ausführlicher zu widerlegen.

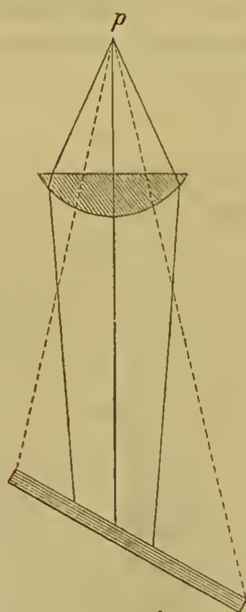
Was zweitens die verschiedenen Linsen und Linsensysteme be- 81
trifft, welche man irgendwo auf dem Wege des einfallenden Lichtes einzuschalten pflegt, so lässt sich leicht beweisen, dass sie ebenso wie die Form und Stellung des Spiegels nur in bestimmten praktischen Fällen Einfluss üben, dagegen in allen Fällen, wo Spiegel und Lichtquelle als unbegrenzt betrachtet werden dürfen, wirkungslos bleiben. Ist wieder *p* (Fig. 42) ein Flächenelement des Gesichtsfeldes und *a b* die Blendung, welche die Oeffnung des einfallenden Lichtkegels bestimmt, so verhält sich ganz allgemein die erste brechende oder reflectirende Fläche unterhalb der Blendung wie eine unbegrenzte Lichtquelle. Denn jeder Punct derselben empfängt aus allen in Betracht kommenden Richtungen Lichtstrahlen und sendet also auch solche nach allen Richtungen aus. Dabei ist es vollkommen gleichgültig, ob die empfangenen Strahlenbündel auf geradem Wege oder erst nach verschiedenen Brechungen oder Reflexionen zu der fraglichen Fläche gelangen (abgesehen natürlich von den Verlusten, welche die Ablenkung bedingt), da die Richtungsverschiedenheit der einfallenden Strahlen wegen der Unbegrenztheit der eigentlichen Lichtquelle nicht in Betracht kommt. Wir können überhaupt jede beliebige Ebene unterhalb der Blendung, die Blendung selbst mit inbegriffen, als leuchtende Fläche betrachten, mag in derselben eine Ablenkung durch Brechung



Figur 42.

oder Reflexion stattfinden oder nicht. Versetzen wir also einstweilen unsere leuchtende Fläche in das Niveau der Blendung, so wirkt jeder Punct der letzteren wie ein selbstleuchtender Punct, und die Beleuchtungsapparate *LL* und *RR* können offenbar keine andere Wirkung haben, als dass die Strahlen, welche zur Beleuchtung des Punctes *p* beitragen, auf ihrem Wege zwischen der Blendung und der ursprünglichen Lichtquelle mehrere Ablenkungen erfahren, wie diess in der Figur durch den Verlauf der Linien veranschaulicht ist.

Anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn die Oeffnung des einfallenden Lichtkegels durch den Spiegel bestimmt wird. Das Einschalten einer Sammellinse bewirkt in diesem Falle, wie man aus Fig. 43 ersieht, eine stärkere Convergenz der Strahlen und daher unter Umständen einen grösseren Oeffnungswinkel. Es ist nämlich immer möglich, die Stellung der Linse so zu wählen, dass der wirksame Lichtkegel, dessen Spitze in *p* liegt, die ganze Linsenoberfläche zur Basis hat. Die Linse leistet alsdann genau dasselbe, wie eine im gleichen Niveau befindliche Blendungsöffnung, welche ihr Licht von einer relativ unbegrenzten Spiegelfläche erhält. Sie giebt wie diese eine um so grössere Lichtstärke, je geringer ihr Abstand von der Einstellungsebene. Die Steigerung erreicht jedoch in beiden Fällen ihre Grenze, sobald die rückwärts construirten Randstrahlen die Peripherie des Spiegels treffen.



Figur 43.

Diese Betrachtung findet natürlich auch auf den Fall Anwendung, dass die ursprüngliche Lichtquelle begrenzt, die spiegelnde Fläche dagegen unbegrenzt ist. Man braucht nur das erstere Wort für das letztere zu substituiren, um den vorstehenden Sätzen auch für diese Voraussetzung buchstäbliche Geltung zu geben. Sie lassen sich mutatis mutandis auch auf den gewöhnlich vorkommenden Fall ausdehnen, dass sowohl Lichtquelle als Spiegelfläche begrenzt oder doch ungleichmässig beleuchtet sind. Die grösstmögliche Lichtstärke, die sich durch Beleuchtungsapparate erzielen lässt, kann unter keinen Umständen diejenige übertreffen, welche ein hinreichend grosser Spiegel bei relativ unbegrenzter Lichtquelle für sich allein bieten würde.

82 Es folgt auch aus dem Vorhergehenden, dass wenn der Beleuchtungsapparat mit einer Blendung versehen ist, welche die Ungleichheit

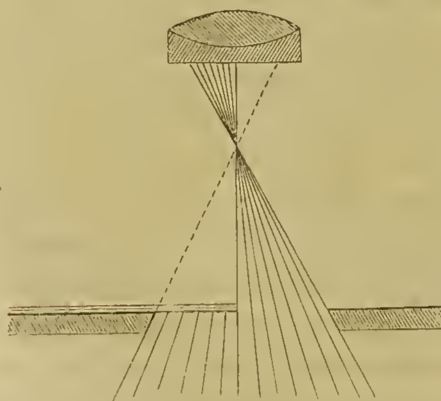
der Bedingungen für die verschiedenfarbigen Strahlen aufhebt, in dem Sinne, dass alle ohne Ausnahme, rückwärts construirt, zur Lichtquelle gelangen würden, irgend ein Unterschied zwischen achromatischen oder nicht achromatischen Linsensystemen unmöglich bestehen kann. Nur wenn die Lichtquelle eine so geringe Ausdehnung hätte, dass z. B. die blauen Randstrahlen dieselbe noch treffen, während die rothen bereits daneben fallen, oder umgekehrt; wenn es überhaupt nicht möglich wäre, die Beleuchtung so zu reguliren, dass die verschiedenfarbigen Strahlen von annähernd gleich hellen Puncten der Lichtquelle, z. B. des hellen Himmels, kommen und also rückwärts construirt auch solche treffen, dann würde allerdings ein achromatisches System den Vorzug verdienen. Da jedoch solche Beschränkungen in der Praxis, namentlich wenn das Instrument mit einem Hohlspiegel versehen ist, nur selten vorkommen und jedenfalls in den meisten Fällen vermieden werden können, dürfte die Herstellung achromatischer Beleuchtungsapparate so ziemlich überflüssig sein.

Die verschiedenen Beleuchtungsapparate sind also nach dem Angeführten nur nach zweierlei Richtungen wirksam: sie geben dem Lichtkegel, welcher ein bestimmtes Flächenelement des Gesichtsfeldes erhellt, eine im ganzen Querschnitt gleiche Intensität und vergrössern zweitens dessen Oeffnungswinkel. Was man sonst über ihren Einfluss angegeben findet, wie z. B. dass sie die Interferenzlinien am Rande der Objecte zum Verschwinden bringen und schwierige Details um so besser auflösen, je vollständiger die Aberrationen beseitigt seien u. dgl., ist pure Einbildung. Bei gleicher Blendung und gleicher Brennweite wird eine beliebige Sammellinse stets dieselben Dienste thun, wie das complicirteste Linsensystem, wofern nur die Durchmesser der brechenden Flächen und des Spiegels für alle Farben der Grösse der Blendung entsprechen. Unter dieser Voraussetzung muss auch der Oeffnungswinkel des einfallenden Lichtkegels um so grösser werden, je kleiner der Abstand der Blendung von der Einstellungsebene. Dabei ist es völlig gleichgültig, ob der Brennpunct des Beleuchtungsapparates in die Einstellungsebene falle oder nicht. Seine Lage gewinnt nur dadurch eine praktische Bedeutung, dass bei zu grosser Annäherung an das Objectiv die rückwärts construirten Randstrahlen die Spiegelfläche nicht mehr treffen, und folglich allerdings das Maximum der Lichtstärke nahezu erreicht ist, wenn das vom Beleuchtungsapparat entworfene Bild entfernter Gegenstände im Gesichtsfelde erscheint.

Soll der Beleuchtungsapparat allen Anforderungen genügen, so 83

muss er ausser der Blendung über der letzten brechenden Fläche, wodurch seine Oeffnung bestimmt wird, auch mit Vorrichtungen ausgestattet sein, welche einen beliebigen Theil des Lichtkegels verfinstern. Manche Objecte treten nämlich am deutlichsten hervor, wenn die Centralstrahlen vom Gesichtsfelde abgehalten werden; andere wieder deutlicher, wenn nur einseitig geneigte Strahlen zur Beleuchtung beitragen. Um also die Beleuchtung nach Bedürfniss zu regeln, ist es nothwendig, ausser der gewöhnlichen Blendung auch solche anzubringen, welche die Mitte der Oeffnung oder einen grösseren oder kleineren Abschnitt derselben verdecken. Man könnte diess am einfachsten bewerkstelligen, indem man auf dem Ring der gewöhnlichen Blendung (oder auf der Blendungsscheibe) noch einen drehbaren Kreissector oder ein Rad anbrächte und daran grössere und kleinere Scheibchen befestigte, die dann nach Belieben über die Blendungsöffnung vorgeschoben werden könnten. Auch kleinere Schieber, wie sie gewöhnlich an Fernröhren zum Schutze der Oculare angebracht sind, oder Stopfenblendungen wie beim Wenham'schen Paraboloid, können unter Umständen zweckdienlich sein. Es ist übrigens ziemlich einerlei, in welcher Weise man die gewünschte Beleuchtung erzielt; nur ist es aus den oben angeführten Gründen rathsam, die fraglichen Vorrichtungen über dem Beleuchtungsapparat, nicht unter demselben, wie es öfter geschieht, anzubringen.

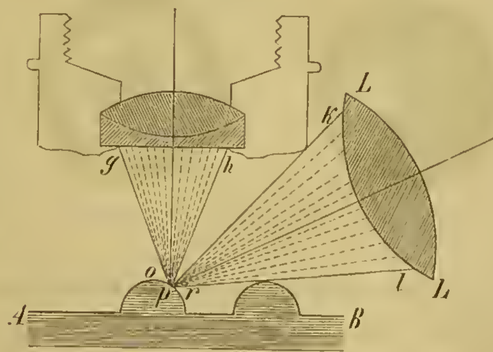
84 Die sogenannte schiefe Beleuchtung, welche man in neuerer Zeit häufig anwendet, um schwierige Einzelheiten zu erkennen, setzt einen einfallenden Lichtkegel voraus, dessen Axe gegen diejenige des Mikroskops mehr oder weniger geneigt ist. Ein solcher Lichtkegel wird natürlich schon dadurch hergestellt, dass man ohne weitere Hülfsmittel den Spiegel oder die Blendung etwas seitlich rückt; er kommt auch dadurch zu Stande, dass man, ohne den Spiegel oder die Blendung aus ihrer Lage zu bringen, einen Theil der Blendungsöffnung vom Rande her zudeckt, so dass z. B. bloss die Hälfte des ursprünglichen Lichtkegels wirksam bleibt (Fig. 44). Es leuchtet ein, dass wenn der Oeffnungswinkel der Blendung demjenigen des Objectivs gleich wäre und eine Ablenkung im Gesichtsfelde nicht stattfände,


Figur 44.

nach dieser letzteren Methode jede überhaupt mögliche schiefe Beleuchtung hergestellt werden könnte. Da jedoch die erstere Bedingung gewöhnlich nicht erfüllt wird (die Blendung besitzt fast immer eine relativ kleinere Oeffnung) und die letztere nicht erfüllt werden kann, so mag es in manchen Fällen einigen Vortheil gewähren, wenn der Beleuchtungsapparat selbst um eine horizontale Axe drehbar und somit geeignet ist, Lichtstrahlen von beliebiger Neigung zu liefern. Sehr hoch möchten wir indess den Werth solcher Vorrichtungen gerade nicht anschlagen. Eine seitlich verschiebbare Blendung, wie sie die meisten neueren Mikroskope besitzen, wird — mit einer entsprechenden Spiegelstellung combinirt — in den meisten Fällen ganz dieselben Dienste thun.

2. Beleuchtung mit auffallendem Licht.

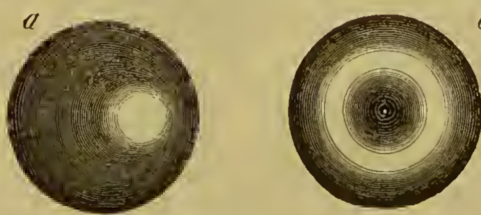
Die Beleuchtung undurchsichtiger Gegenstände von oben gewährt 85
den Vortheil, dass dadurch die mikroskopische Wahrnehmung dem Sehen mit blossem Auge ähnlicher wird, indem das schliessliche Bild auf der Netzhaut in beiden Fällen von Strahlen herrührt, die an der Oberfläche der Körper reflectirt werden. Eine vollkommene Uebereinstimmung besteht aber desswegen noch lange nicht, da Schatten und Licht für das bewaffnete Auge wegen der grösseren Oeffnung der wirksamen, vom Objecte ausgehenden Lichtkegel sich ceteris paribus stets anders vertheilen, als für das unbewaffnete. Mit diesem Unterschied in der Grösse der Oeffnungswinkel hängt denn auch die Schwierigkeit zusammen, für jeden Lichtkegel, der vom Objectpunct zum Objectiv gelangen soll, den entsprechenden einfallenden zu liefern, d. h. die Beleuchtung so zu regeln, dass wenn man die Lichtbündel rückwärts construirt, jeder Strahl die gegebene Lichtquelle trifft. Ist z. B. AB (Fig. 45) die Oberfläche eines Körpers mit halbkugelförmigen Erhabenheiten und gh der optisch wirksame Theil des Objectivs, so wird der nach p zielende Lichtkegel ghp, wie die Construction ergiebt, so reflectirt, dass seine Randstrahlen die Richtungen pk und pl einschlagen. Sie streifen also unter den in der Figur gegebenen Dimensionsverhältnissen einerseits die Oberfläche des Kör-



Figur 45.

pers und andererseits den Rand des Objectivs und erreichen auf diesem Wege durch das Fenster des Beobachtungszimmers die unbegrenzte Lichtquelle, den hellen Himmel. Allfällige Hindernisse, welche der Fortpflanzung des Lichtes entgegenstehen, können durch Einschalten einer Sammellinse (LL in obiger Figur) oder eines Hohlspiegels, der hier ganz dieselben Dienste thut, wie bei durchfallendem Licht, umgangen werden. Alle zwischenliegenden Strahlen gelangen natürlich ebenfalls zur Lichtquelle und folglich auch in umgekehrter Richtung von dieser zum Objectiv. Der Punct p wird also durch einen vollen Lichtkegel beleuchtet, dessen Oeffnung derjenigen des Objectivs gleichkommt.

Denken wir uns jetzt ähnliche Lichtkegel nach den Puncten rechts und links von p construirt, so ist ohne Weiteres klar, dass dieselben nur theilweise zur Lichtquelle gelangen, da ein anderer Theil entweder nach dem Objectiv oder nach Puncten der Körperoberfläche reflectirt wird. Die gedachten Lichtkegel kommen also in Wirklichkeit nur theilweise zu Stande. Die Verluste werden um so grösser, je mehr wir uns einerseits dem Scheitel o und andererseits dem Rand der Halbkugel nähern. In o muss unter allen Umständen vollkommene Dunkelheit eintreten, weil der einfallende Lichtkegel mit dem reflectirten zusammenfällt; ebenso ist für den rechts von p gelegenen Punct r unter den angenommenen Verhältnissen eine Beleuchtung unmöglich, da alle in r reflectirten Strahlen neben den wirksamen Theil des Objectivs fallen. Die Halbkugel erscheint also nur in der Umgebung von p hell (Fig. 46a), und selbst wenn die Lichtquelle für alle gleichweit von o abstehende Puncte dieselbe Intensität besässe — was in der Praxis nicht der Fall ist, da das Licht seitlich einfällt — würde diese helle Stelle sich nur als schmale kreisförmige Zone darstellen (Fig. 46b).



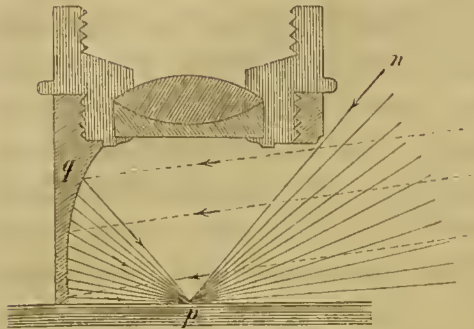
Figur 46.

Wir werden weiter unten, wo es sich um die Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung handelt, die Vertheilung von Licht und Schatten für einige Körperformen genauer zu bestimmen suchen; hier sollte bloss gezeigt werden, dass eine solche Beleuchtung im Allgemeinen nicht günstig sein kann, um sich über die Formverhältnisse eines gegebenen Objects zu orientiren, da schon bei mässiger Oeffnung des Objectivs ein grosser Theil der Oberfläche in den Kern- oder

Halbschatten fällt. Sie findet auch in der Regel nur Anwendung, wenn die Vergrösserung nicht viel über 100—120 Mal steigt, so dass die Oeffnung des einfallenden Lichtkegels (*kpl* in Fig. 45) bedeutend grösser ist, als diejenige des Objectivs. Das Einschalten einer Sammellinse gewährt alsdann, wie beim durchfallenden Licht, den praktischen Vortheil, dass die Herstellung eines solchen Lichtkegels noch möglich ist, wenn das Mikroskop auch ziemlich weit vom Fenster aufgestellt wird, insofern nur die Brennweite der Linse im Verhältniss zum Durchmesser derselben nicht zu gross ist. Dass übrigens ein aequivalenter Hohlspiegel oder ein Selligue'sches Prisma (rechtwinkliges Prisma, dessen beide unter dem rechten Winkel zusammenstossende Flächen convex geschliffen sind) ganz dasselbe leistet, was eine Beleuchtungslinse, ist an und für sich klar. Doch dürfte die letztere in den meisten Fällen aus rein praktischen Rücksichten den Vorzug verdienen.

Der angedeutete Uebelstand, dass bei dieser Beleuchtung der 86
grössere Theil der Körperoberfläche in den Schatten fällt, lässt sich übrigens bis auf einen gewissen Grad beseitigen. Da nämlich die Vertheilung von Licht und Schatten im mikroskopischen Bilde einzig und allein von der Lage und Oeffnung des einfallenden Lichtkegels abhängt (das Objectivsystem wird als gegeben betrachtet), so ist es möglich, durch geschickte Verwendung spiegelnder Flächen dem erhellten Theile des Bildes eine grössere Ausdehnung zu geben. Ist z. B. das Fenster des Arbeitszimmers oder die Beleuchtungslinse die (secundäre) Lichtquelle, so wirkt ein gewöhnlicher Spiegel, welcher auf der entgegengesetzten Seite der Mikroskopröhre in geeigneter Stellung dem Lichte zugewendet wird, wie eine Verdoppelung dieser Lichtquelle. Ein kugelförmiger Körper, welcher bei einseitiger Beleuchtung eine einzige excentrische Lichtstelle zeigt, erhält auf diese Weise deren zwei; ebenso kommt zu der Lichtlinie, welche ein parallel mit dem Fenster verlaufender Metalldraht entwirft, in Folge der Spiegelung eine zweite symmetrische hinzu. Stände das Mikroskop in einem geschlossenen Halbkreis von Spiegeln und nahe am Fenster, so müsste der Lichteffect annähernd derselbe sein, wie wenn es unter freiem Himmel oder in einem Glashaus mit unbeschränktem Seiten- und Oberlicht aufgestellt wäre. Eine ähnliche Wirkung, wenn auch nicht eine vollkommen aequivalente, müsste auch ein kleiner cylindrischer oder im Querschnitt parabolischer Hohlspiegel hervorbringen, welcher am untern Ende des Objectivs so befestigt wäre, dass das von ihm entworfene Bild des Fensters im Focus des Mikroskops zu Stande

käme. Man könnte, um seine Wirkung noch etwas zu steigern, demselben auch in der Richtung der Axe eine entsprechende Krümmung geben, wie diess in Fig. 47 veranschaulicht ist. Der Objectpunct *p* würde auf diese Weise so beleuchtet, als wäre derselbe in die Strahlung des ganzen Himmelsgewölbes, mit Ausnahme der durch den Winkel *qpn* bestimmten Scheitelregion eingetaucht.



Figur 47.

87 Ein solcher Beleuchtungsapparat ist unseres Wissens nie hergestellt worden. Das Wenham'sche Paraboloid*) und einige andere Apparate, welche besonders in England Verbreitung gefunden haben, sind nur insofern mit ihm verwandt, als das Licht, welches zur Beleuchtung beiträgt, ebenfalls seitlich oder von allen Seiten, aber nur innerhalb gewisser, ziemlich eng gezogener Grenzen der Neigung einfällt. Dagegen besitzen wir in dem Lieberkühn'schen Spiegel gewissermassen sein Gegenstück, indem derselbe gerade die dem Winkel *qpn* entsprechende Strahlung herstellt und also denjenigen Theil des Himmelsgewölbes repräsentirt, der in unserem Falle ausgeschlossen war. Diese Wirkung wird durch ein in der Mitte durchbrochenes Concavspiegelchen erzielt, welches mittelst seiner Fassung so an das Objectiv angeschraubt wird, dass der wirksame Theil der Objectivlinse die Oeffnung des Spiegels ausfüllt und so die reflectirende Fläche wieder vervollständigt**). Als Lichtquelle dient der gewöhnliche Be-

---

*) Das Wenham'sche Paraboloid ist ein nach unten gekehrter und am Scheitel durchbrochener parabolischer Spiegel, welcher nach Art einer Cylinderblendung in den Objecttisch eingeschoben wird. Soll derselbe auffallendes Licht liefern (er wurde zunächst für durchfallendes construirt), so bringt man das zu beleuchtende Object in ein starkbrechendes Medium (Terpentinöl, Canadabalsam u. dgl.) und bedeckt es mit einem Deckglas. Alsdann erfahren die vom Spiegel kommenden Randstrahlen, welche unter einem Winkel von c. 42° und darüber einfallen, an der Oberfläche des Deckglases eine totale Reflexion und bilden nun einen nach oben geöffneten Strahlentrichter, dessen Spitze bei richtiger Einstellung des Apparates die Oberfläche des Objectes trifft.

**) Die Spiegelung der Objectivlinse ist so beträchtlich, dass das von ihr entworfene Schattenbild eines Quecksilbertropfens in diesem letzteren selbst wieder ein verkleinertes Bildchen hervorruft, das mikroskopisch noch deutlich wahrnehmbar ist.

leuchtungsspiegel, welcher durch eine weite Oeffnung im Objecttisch das Licht nach oben wirft, wobei natürlich die Strahlen, welche von unten auf das Object selbst fallen, abgehalten werden. Die Krümmung des Concavspiegelchens muss dem entsprechend eine solche sein, dass die von den Objectpuncten rückwärts construirten Strahlenbündel auf den Beleuchtungsspiegel fallen, was nur möglich ist, wenn die Brennpuncte des Spiegelchens und des Objectivs einander nahe liegen oder zusammenfallen; das letztere ist übrigens keineswegs nothwendig.

Soll der Gegenstand sich auf einem dunkeln oder beliebig gefärbten Grunde abzeichnen, so wird er auf eine entsprechende undurchsichtige Unterlage gelegt, welche so gross ist, dass sie das ganze Gesichtsfeld ausfüllt. Das Festhalten des Objectes mit oder ohne Unterlage geschieht durch einen geeigneten Halter oder einfach durch Auflegen auf eine Glasplatte.

Die Wirkung des Lieberkühn'schen Spiegels steht zur Beleuchtung durch seitlich einfallendes Licht in demselben Gegensatz, wie in öffentlichen Gebäuden (Kunstgalerien etc.) das reine Oberlicht zum gewöhnlichen Seitenlicht. Während das letztere an jedem Gegenstande und an jeder Erhabenheit eine Licht- und eine Schattenseite hervorhebt, drängt das erstere den Schatten auf die dem Auge abgewendete Seite zurück, so dass der sichtbare Theil der Körper ziemlich gleichmässig beleuchtet erscheint.

Zweiter Abschnitt.

Die mechanische Einrichtung des Mikroskops.

---

88 Wenn wir der mechanischen Einrichtung des Mikroskops einen besonderen Abschnitt widmen, so geschieht diess vorzugsweise, um auch dem Leser, welchem andere mikrographische Werke nicht zu Gebote stehen, gerecht zu werden. Wir beschränken uns dabei auf eine kurze Darlegung der Grundsätze, welche in den verschiedenen Werkstätten in diesem Betreff befolgt werden, und eine darauf folgende Beschreibung der Mikroskopgestelle, wie sie gegenwärtig von den namhafteren Optikern geliefert werden.

I.

Allgemeine Regeln für die Construction der Stative.

89 Die Einstellung. Das Stativ des zusammengesetzten Mikroskops hat zunächst den Zweck, das Objectiv in die richtige Entfernung vom Object zu bringen und darin unverrückt festzuhalten. Zu diesem Behufe muss dasselbe mit Vorrichtungen ausgestattet sein, welche sowohl die grösseren Distanzveränderungen, wie sie z. B. beim Wechsel der Objective nothwendig sind, als auch die feinere Einstellung auf ein gegebenes Niveau erlauben. Der Mechanismus dieser Vorrichtungen lässt drei Modificationen zu, von denen jede in sehr verschiedener Weise Anwendung findet. Die Einstellung geschieht nämlich a) durch Bewegung der Mikroskopröhre gegen den feststehenden Objecttisch, auf welchem der zu untersuchende Gegenstand liegt, oder b) durch Bewegung des Objecttisches gegen die unbewegliche Mikroskopröhre, oder auch c) durch eine Combination beider Bewe-

gungen, wobei gewöhnlich die Mikroskopröhre für die gröbere und der Objecttisch für die feinere Einstellung gewählt wird. Jede dieser Modificationen bietet natürlich ihre Vor- und Nachtheile, und es ist zum Theil eine Sache der individuellen Beurtheilung, wie man dieselben gegen einander abwiegt. Mohl spricht sich entschieden gegen jede Bewegung des Objecttisches aus, weil das so störende Schlottern desselben bei längerem Gebrauch sonst nicht zu vermeiden sei, und weil das nach seinem Dafürhalten unentbehrliche Schraubenmikrometer nur an einem durchaus feststehenden Tische hinreichend sicher befestigt werden könne. Der erste Grund ist jedenfalls beachtenswerth; der letztere will uns bei der geringen Verbreitung der Schraubenmikrometer weniger einleuchten. Auf der andern Seite ist mit der Unbeweglichkeit der Mikroskopröhre der Vortheil verbunden, dass der Kopf beim Gebrauch verschiedener Objective immer in gleicher Höhe gehalten werden kann, während seine Lage im entgegengesetzten Fall von der Vergrösserung abhängt. Indess sind die Niveaudifferenzen, welche die Einstellung mit sich bringt, nur mit Rücksicht auf die allerschwächsten Objective als Uebelstand zu betrachten, und auch hier kann derselbe durch entsprechende Verkürzung des Rohres beseitigt werden. Der triftigere Grund spricht also immerhin zu Gunsten der vollständigen Unbeweglichkeit des Objecttisches in der Richtung der Mikroskopaxe.

Die gröbere Einstellung wird entweder durch einen Trieb, der wieder in sehr verschiedener Weise angebracht sein kann, oder durch Verschieben der Mikroskopröhre in einer etwas federnden Hülse mittelst der Hand bewerkstelligt. Die erstere Art der Bewegung findet sich z. B. bei den Stativen von Plössl und Amici und bei den englischen Instrumenten, die letztere bei der grossen Mehrzahl der deutschen und französischen Mikroskope. Die Hülse hat vor dem Trieb die grössere Einfachheit und die sanftere Bewegung voraus; allein bei längerem Gebrauche nützen sich die Berührungsflächen allmählich ab und bedecken sich gleichzeitig in Folge der Oxydation mit Schmutz. Die Röhre schiebt sich alsdann zu leicht oder zu schwer, je nachdem sie blank geputzt oder angelaufen ist. Indess kann dem Uebelstand, dass dieselbe sich durch ihr eignes Gewicht senkt, durch schwaches Zusammendrücken der Hülse leicht abgeholfen werden.

Der Objecttisch soll hinreichend gross (mindestens 2½–3 Zoll 90
im Durchmesser), eben und, wie schon erwähnt, möglichst fest sein. Vorstehende Schraubenköpfe, festsitzende Federklammern u. dgl. erweisen sich immer als unpraktisch, weil sie das Auflegen grösserer

Glasplatten und das Verschieben derselben in der Einstellungsebene hindern. Dagegen ist die Form des Tisches, ob rund oder viereckig, ziemlich gleichgültig; auch möchten wir gerade kein grosses Gewicht darauf legen, ob seine Oberfläche schwarz angestrichen sei oder nicht, da der Glanz des Metalls sich ohnehin bald verliert und das falsche Licht, welches namentlich bei Anwendung schwacher Vergrösserungen nicht selten in störender Weise ins Mikroskop geworfen wird, doch vorzugsweise vom Objectträger herrührt. Wo die Sicherheit der Beobachtung schon durch geringe Mengen reflectirten Lichtes beeinträchtigt wird, muss dasselbe trotz des schwarzen Anstriches durch Vorhalten der Hand oder durch eine passende Vorrichtung ausgeschlossen werden.

Die Oeffnung des Objecttisches muss selbstverständlich wenigstens so gross sein, als das Gesichtsfeld des schwächsten Objectivs. Da jedoch für manche Untersuchungen eine viel kleinere Oeffnung, für andere eine sehr grosse von wenigstens 1 Zoll Durchmesser wünschenswerth ist, so dürfte es am zweckmässigsten sein, dem Objecttisch selbst eine grosse Oeffnung zu geben und dieselbe durch in der Mitte durchbohrte Scheiben, die von oben in eine entsprechende Vertiefung des Tisches eingelassen werden, auf den gewünschten Umfang zu reduciren. Solche Vertiefungen sind auch für andere Zwecke, z. B. zum Auflegen der Gypsplättchen bei Untersuchungen im polarisirten Lichte, sehr bequem.

Ein Schlitten an der Unterfläche des Tisches gewährt den Vortheil, dass mit demselben der ganze Blendungsapparat nach Belieben seitlich gerückt oder auch ganz entfernt werden kann, was namentlich bei manchen physikalischen Untersuchungen sehr praktisch ist.

Grössere Stative werden zweckmässig so eingerichtet, dass der Tisch mit dem ganzen oberen Theil des Mikroskops um dessen optische Axe drehbar ist, indem es dadurch möglich wird, das schief einfallende Licht unter jedem beliebigen Winkel auf das Object wirken zu lassen. Diese Einrichtung, welche wir Oberhäuser verdanken, findet sich gegenwärtig fast bei allen grösseren Mikroskopen. Bei kleineren Gestellen kann dieselbe auch durch eine auf dem Objecttisch befestigte drehbare Scheibe ersetzt werden, welche jedoch für die stärkeren Vergrösserungen mit einer besonderen Vorrichtung zur Centrirung ausgestattet sein muss. Da nämlich die geringste Excentricität der Drehungsaxe Ortsveränderungen des Objectes während der Drehung zur Folge hat, die sich leicht bis zum Verschwinden aus dem Gesichtsfelde steigern, und andererseits die optischen Axen der

verschiedenen Objective nie genau in der nämlichen Verticale liegen, so ist es absolut unmöglich, die Scheibe ein für allemal richtig zu placiren; sie muss daher innerhalb gewisser Grenzen rechtwinklig verschoben werden können. Diese Verschiebbarkeit ist auch noch in anderer Beziehung von Nutzen; sie erleichtert bei mikrometrischen und Winkelmessungen die genaue Einstellung eines Theilstriches oder des Fadenkreuzes auf einen bestimmten Punct und leistet dadurch namentlich bei krystallographischen Untersuchungen wesentliche Dienste. Zu empfehlen ist indess, diese Scheibe so anzubringen, dass sie nach Belieben aufgesetzt oder weggenommen werden kann.

Der Beleuchtungsapparat. Nach dem, was oben über die Beleuchtung gesagt wurde, kann dieselbe nach zwei Richtungen verschieden sein, nämlich a) mit Rücksicht auf die Oeffnung der einfallenden Lichtkegel und b) mit Rücksicht auf die Neigung derselben. Ein vollständiger Beleuchtungsapparat muss folglich in diesen beiden Puncten jede wünschbare Modification gestatten. 91

In den meisten Fällen genügt dieser Anforderung schon ein Plan- oder Hohlspiegel von gewöhnlicher Grösse, wenn derselbe dem Object hinreichend genähert und überdiess seitlich verstellt werden kann. Ist das so erzielte Licht noch zu schwach, so kann die Convergenz der Strahlen durch Beleuchtungslinsen gesteigert werden. Die Begrenzung der einfallenden Lichtkegel geschieht in beiden Fällen durch Blendungen, welche unter dem Objecttisch befestigt oder in denselben eingesenkt sind.

Grössere Instrumente sind gewöhnlich mit Plan- und Hohlspiegel in gemeinsamer Fassung ausgerüstet und lassen jede beliebige Bewegung derselben im Raume oder wenigstens in der Verticalebene zu; kleinere besitzen gewöhnlich nur einen Hohlspiegel, welcher um seinen eigenen Mittelpunct drehbar und zuweilen in der Richtung der Axe verschiebbar ist, — eine Vereinfachung, welche insofern zulässig erscheint, als die schiefe Beleuchtung doch nur in bestimmten Fällen Wichtigkeit erlangt und dann durch besondere Vorrichtungen erzielt werden kann. Dagegen ist eine noch weiter gehende Beschränkung der Spiegelbewegung, wie wir sie z. B. bei den kleinen Oberhäuser'schen Instrumenten finden, unter Umständen mindestens unbequem zu nennen.

Im Betreff der Apparate zur Beleuchtung opaker Gegenstände verweisen wir auf das oben Mitgetheilte.

Die Blendungen. Es ist an und für sich klar, dass eine kleine Blendungsöffnung, welche beispielsweise um einen Millimeter von 92

der Einstellungsebene absteht, die einfallenden Lichtkegel in gleicher Weise begrenzt, wie eine Oeffnung von doppeltem Durchmesser bei doppeltem Abstand. Theoretisch ist es also vollkommen gleichgültig, in welcher Weise und in welchem Niveau zwischen Spiegel und Object die Blendungen angebracht werden, wenn nur die Grösse der Oeffnung zu ihrem Abstand vom Object in dem gewünschten Verhältnisse steht. Die Praxis stellt jedoch die weitere Anforderung, dass der Blendungsapparat leicht und bequem zu handhaben sei, dass er ohne das Object zu verschieben die verschiedensten Nüancirungen der Beleuchtung gestatte und überdiess alles fremde Licht, welches vom Arbeitstisch oder Stativ reflectirt wird, vollständig ausschliesse. Um diess zu erreichen, brachte man früher drehbare Scheiben mit grösseren und kleineren Oeffnungen unter dem Objecttisch an, welche zuweilen auch in senkrechter Richtung verschiebbar waren. Die Oeffnungen sind so geordnet, dass sie beim Drehen nach einander in die Axe des Mikroskops fallen und also nach Belieben benutzt werden können. Wir finden, dass eine solche Vorrichtung, richtig construirt, dem beabsichtigten Zweck in befriedigender Weise entspricht; nur darf dieselbe nicht zu weit vom Objectträger abstehen.

Neben diesen Drehscheiben kamen in neuerer Zeit die durch Oberhäuser eingeführten Cylinderblendungen mehr und mehr in Gebrauch. Es sind diess cylindrische Röhren mit gleichgeformter oder kegelförmiger Höhlung, welche nach oben in die grössere oder kleinere Blendungsöffnung übergeht; sie werden gewöhnlich einem ähnlich gestalteten grösseren Cylinder, der sich in einer Hülse auf und nieder schieben lässt, aufgesetzt. Die Cylinderblendungen vereinigen alle Vorzüge der Drehscheiben und bieten überdiess die Annehmlichkeit, dass die Blendungsöffnung dicht unter die Objectplatte zu liegen kommt, wodurch das zeitraubende Suchen kleiner Gegenstände wesentlich erleichtert wird.

Die Vorrichtungen zum Abhalten der Centralstrahlen übergehen wir hier, da dieselben bereits früher Erwähnung gefunden. Auch auf die Beschreibung der complicirteren Blendungsapparate, wie sie manche englische Instrumente besitzen, glauben wir füglich verziehten zu dürfen.

93 Das Fussgestell. Dasselbe hat vor Allem die Bestimmung, dem ganzen Instrument die nöthige Stabilität zu geben; es darf also nicht zu klein und nicht zu leicht sein. Seine Form kommt nur insofern in Betracht, als bei gleicher Zweckmässigkeit verschiedener Gestelle das bequemere und compendiösere den Vorzug verdient. Als

Mustermodell darf wohl in dieser Hinsicht das Hufeisenstativ von Oberhäuser bezeichnet werden, welches mit grosser Solidität auch den Vortheil verbindet, dass der Beleuchtungsspiegel bis auf das Niveau des Arbeitstisches gesenkt werden kann, wodurch der nöthige Raum für andere Vorrichtungen gewonnen wird, die man allenfalls unter dem Objecttische anbringen will. Weniger bequem, weil nur für centrische Beleuchtung eingerichtet, jedoch bei kleineren Instrumenten vollkommen ausreichend, ist das sogenannte Trommelstativ Oberhäusers, welches auf einer mit Blei ausgegossenen Scheibe ruht, die mit dem Objecttisch durch eine cylindrische, vorn offene Röhre von gleichem Durchmesser verbunden ist. Andere Optiker verbinden ähnliche Scheiben durch eine oder zwei Säulen mit dem Objecttisch und dem ganzen oberen Theil des Stativs; noch andere geben dem Fuss die Form eines Dreizacks, dessen Arme bald feststehen, bald zum Zusammenlegen eingerichtet sind u. s. w. Kleine Instrumente, namentlich die sogenannten Reise- und Taschenmikroskope, werden zweckmässig so construirt, dass das Stativ auf den Deckel des Kästchens, welches zur Aufnahme desselben dient, aufgeschraubt werden kann. Für den täglichen Gebrauch möchten wir indess eine solche Einrichtung nicht empfehlen.

Länge und Stellung der Mikroskopröhre. Die meisten 94
neueren Optiker auf dem Continent geben der Mikroskopröhre von der Vorderfläche des Objectivs bis zur Endfläche des Oculars eine Länge von c. 200—220 m·m·, so dass die Gesammthöhe des Instruments ungefähr 300 — 360 m·m· beträgt. Hievon weichen nur die grossen Mikroskope von Plössl und seiner Nachahmer (Pistor, Schiek) wesentlich ab, indem dieselben durch die ansehnliche Tubuslänge von c. 300 m·m· eine Höhe von c. 450 m·m· erhalten, so dass man bei gewöhnlicher Tischhöhe nur stehend damit arbeiten kann. Auch die englischen Instrumente, die wir übrigens nicht näher kennen, scheinen sich im Allgemeinen durch eine beträchtlichere Grösse auszuzeichnen, — nach unserem Dafürhalten gerade kein Vorzug.

Bei den grossen Stativen ist zuweilen die Einrichtung getroffen, dass das Mikroskoprohr mit dem Objecttisch um eine horizontale Axe gedreht und also beliebig geneigt werden kann. Damit soll zunächst eine bequemere Haltung des Kopfes, sodann eine horizontale Stellung der Mikroskopröhre für gewisse Untersuchungen ermöglicht werden. Uns scheinen jedoch diese Vortheile durch die Unbequemlichkeit, welche die Neigung des Objecttisches mit sich bringt, mehr als aufgewogen zu werden. Wo eine horizontale Stellung der Mikro-

skopröhre geboten ist, was doch im Ganzen selten vorkommt, lässt sich dieselbe ganz einfach herstellen, indem man das Instrument umlegt. Die Hufeisenstative eignen sich sogar vortrefflich hiezu, da die beiden Enden des Hufeisens mit dem Objecttisch einen schweren Dreifuss bilden.

95 Sollen wir die wichtigsten Eigenschaften eines guten Stativs zusammenstellen, so verdient die solide und compendiöse Messingarbeit, ein fester, hinreichend grosser Tisch, ein um seinen Mittelpunct frei beweglicher Beleuchtungsspiegel mit einer ebenen und einer concaven Spiegelfläche und eine zweckmässige Blendungsvorrichtung zuerst hervorgehoben zu werden. Die Verschiebbarkeit des Spiegels nach seitwärts und in senkrechter Richtung (die übrigens bei den meisten Instrumenten leicht einzurichten ist), namentlich aber die Drehbarkeit des Tisches um die Mikroskopaxe möchten wir erst in zweite Linie stellen; es sind diess Eigenschaften, die man nöthigenfalls auf einfache Weise ersetzen kann, erstere durch Anwendung einer zur Hälfte bedeckten, ziemlich starken Linse oder eines Condensors statt der Blendung, letztere durch die viel wohlfeilere drehbare Scheibe auf dem Objecttisch. Wo indess die Form des Stativs die Herstellung einer möglichst freien Bewegung des Spiegels gestattet, ist dieselbe um so eher zu empfehlen, als das Mikroskop dadurch fast gar nicht vertheuert wird. Alle übrigen Eigenschaften und Vorrichtungen endlich, welche im Vorhergehenden erwähnt wurden, sind untergeordneter Natur und können bei den meisten Untersuchungen entbehrt werden.

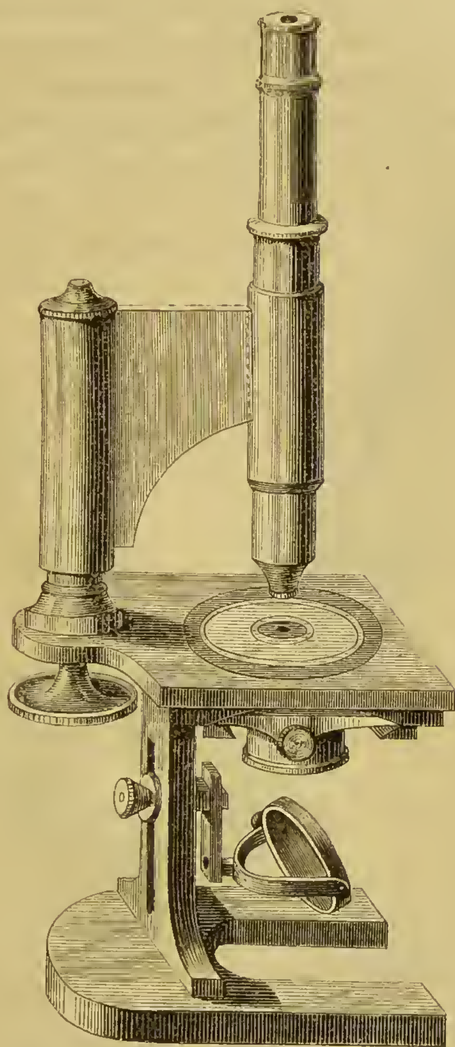
II.

Die Stative der neueren Optiker.

96 Wir gehen nun an die Beschreibung der bekannteren Stativformen, welche gegenwärtig von den namhafteren Mikroskopverfertigern geliefert werden.

E. Hartnack (Nachfolger von G. Oberhäuser) in Paris. Das grosse Hufeisenstativ von Oberhäuser (Fig. 48), welches Hartnack ohne wesentliche Abänderungen beibehalten und mancher andere Optiker mehr oder weniger modificirt angenommen hat, wurde bereits oben als wahres Musterstativ bezeichnet. Es verdient diese Benennung, weil es, wie kein anderes, den Vorzug grösster Zweckmässigkeit mit einfacher Construction verbindet. Die grobe Einstellung

geschieht durch Verschiebung des Rohres in einer Hülse, die feinere durch eine Mikrometerschraube, welche diese Hülse hebt und senkt. Der Tisch ist drehbar und an seiner Unterfläche mit einem Schlitten



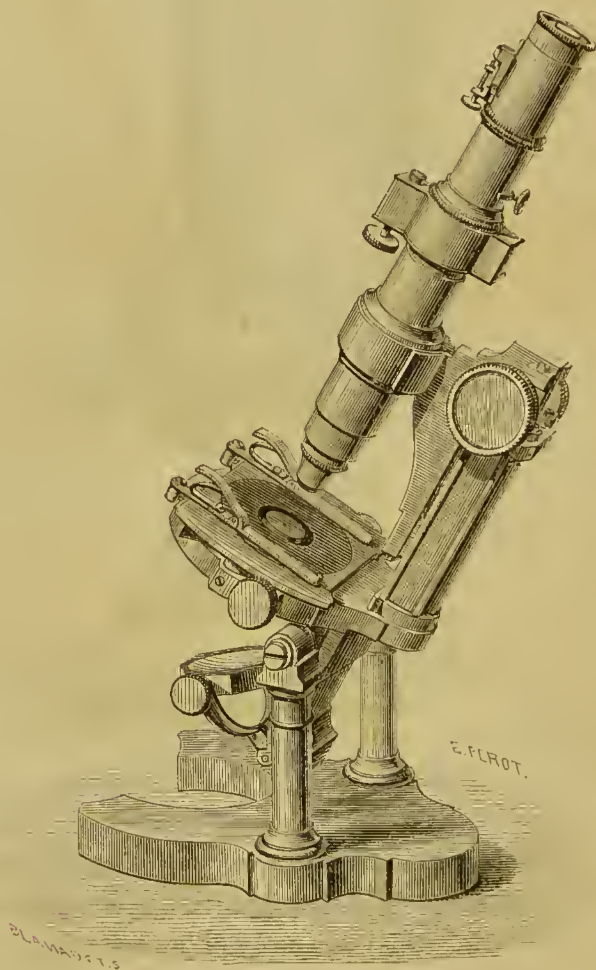
Figur 48.

versehen, in welchen die Blendungen von unten eingeschoben werden; der Spiegel seitwärts und in senkrechter Richtung beweglich, auf der einen Seite mit ebener, auf der anderen mit concaver Spiegelfläche.

Das kleinere Hufeisenstativ hat dieselbe Einrichtung, wie das vorhergehende, nur fehlt der drehbare Objecttisch. Da es für die meisten Untersuchungen vollkommen genügt, und mit einer vortreff-

lichen Ausstattung um den mässigen Preis von 375 Franken geliefert wird, so ist es mit Recht sehr beliebt.

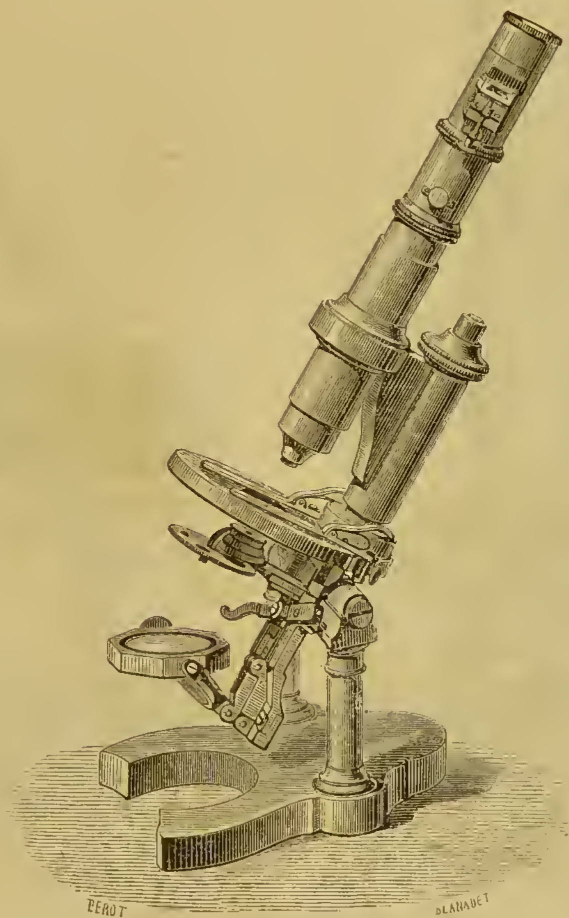
Die nach dem älteren Modell construirten Trommelstative möchten wir für grössere Instrumente nicht empfehlen; für kleinere, wie sie Hartnack zu 140 Fr. berechnet, sind sie dagegen sehr zweckmässig und jedenfalls den ganz kleinen Röhrenstativen, welche zum Aufschrauben auf den Mikroskopkasten eingerichtet sind, vorzuziehen. Letztere sind wegen ihres allzu schmalen Objecttisches und der mangelhaften Beleuchtungsvorrichtungen für manche Untersuchungen sehr unbequem. Die grosse Verbreitung, die sie trotzdem gefunden haben, erklärt sich durch ihre Wohlfeilheit und ihre Compendiosität.



Figur 49.

97 **Nachet und Sohn** in Paris. Die grössten und besten Mikroskope dieser Firma haben ein Gestell, wie es in Fig. 49 dargestellt

ist [1]). Der ganze optische Apparat hängt an einer horizontalen Axe zwischen zwei Säulen und kann also aus der senkrechten Stellung in eine beliebig geneigte gebracht werden. Die grobe Einstellung geschieht durch einen in ein vierkantiges Gehäuse eingeschlossenen Trieb, die feinere mittelst der Mikrometerschraube, welche in der Mitte der Mikroskopröhre angebracht ist und welche die Verschiebung einer inneren Röhre bewirkt, an deren unterem Ende die Objective angeschraubt sind. Der Tisch ist drehbar und überdiess mit einer Vor-



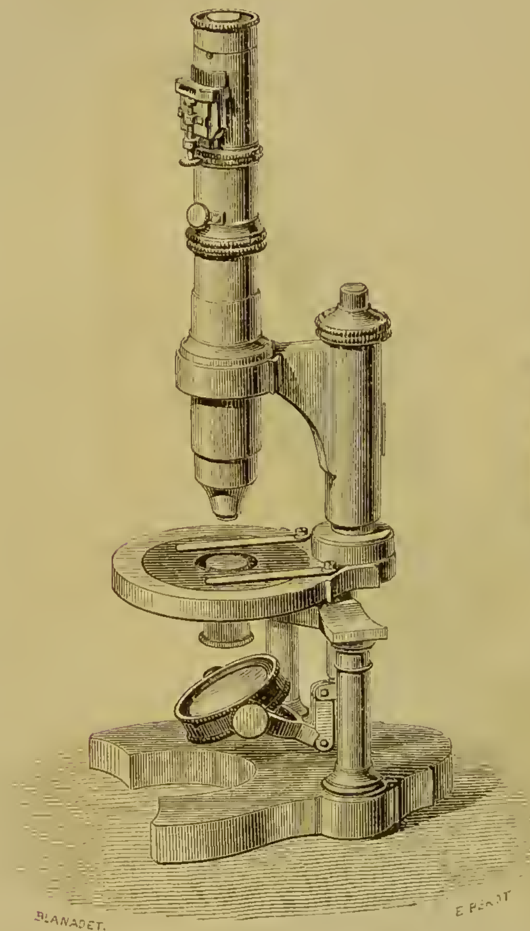
Figur 50.

richtung zur seitlichen Verschiebung der Objecte mittelst Schrauben ausgestattet. Zwei Federklammern dienen zur Befestigung der Objectträger, ein Hebelapparat zur Auf- und Abbewegung der Blendungen

---

[1]) Nachet hatte die Gefälligkeit, uns die Holzschnitte aus seinem neuesten Katalog zur Benutzung mitzutheilen.

und Condensatoren. Das Ocularmikrometer ist zum Einschieben eingerichtet und mit einer Schraube zur scharfen Einstellung für das Auge versehen. Ausgerüstet mit 8 Objectiven (die 5 letzten mit Correction für Deckgläser von verschiedener Dicke), 3 Ocularen, Objectiv- und Ocularmikrometer, Goniometer, Polarisationsapparat nebst Gypsblättchen, Zeichnenprisma, Condensator und anderem Zubehör kommt dieses Instrument auf 1300 Fr. zu stehen.



Figur 51.

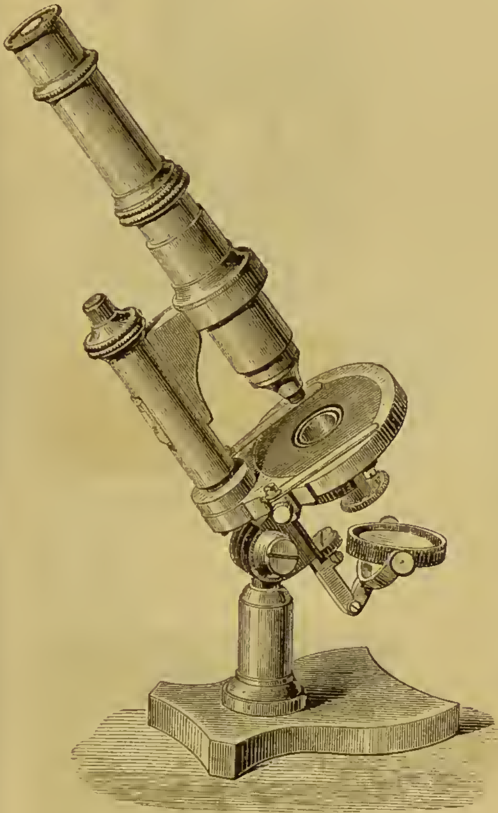


Figur 52.

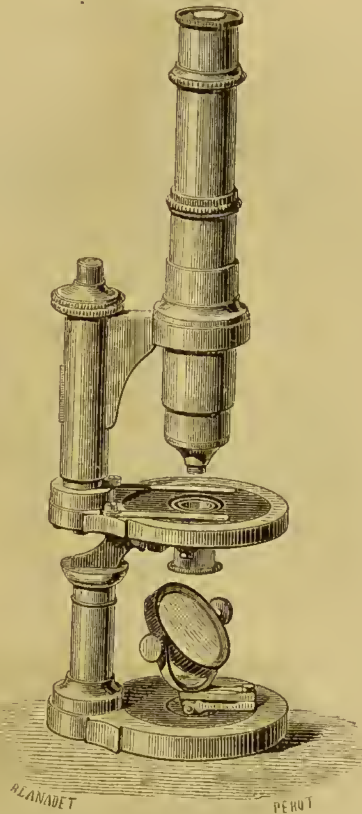
Ein etwas älteres Modell (Microscope grand modèle [Fig. 50]), das grösste des früheren Katalogs vom Jahr 1856, ist ähnlich construirt, jedoch ohne verschiebbare innere Röhre. Die Einstellung geschieht wie bei den grösseren Hartnack'schen Instrumenten. — Dieselbe Construction zeigt im Wesentlichen auch das grosse verticale Mikroskop (M. grand modèle droit [Fig. 51]); nur ist hier die Vorrichtung zum Einsetzen und Verschieben der Blendungen und des

Condensators eine andere. Diese werden nämlich von unten in eine Hülse *D* (Fig. 52) eingeschoben, welche am Objectisch *A* mittelst einer um einen peripherischen Punct drehbaren Platte befestigt ist.

Sehr zu empfehlen sind die im Katalog als Nr. 4—7 aufgeführten mittelgrossen und kleinen Stative mit und ohne Horizontalstellung (M. moyen modèle inclinant et droit [Fig. 53 u. 54]; M. petit modèle inclinant et droit [Fig. 55 u. 56]). Erstere sind mit 5 Objectiven und 3 Ocularen nebst Ocularmikrometer zu 420 und 380, letztere je nach



Figur 53.

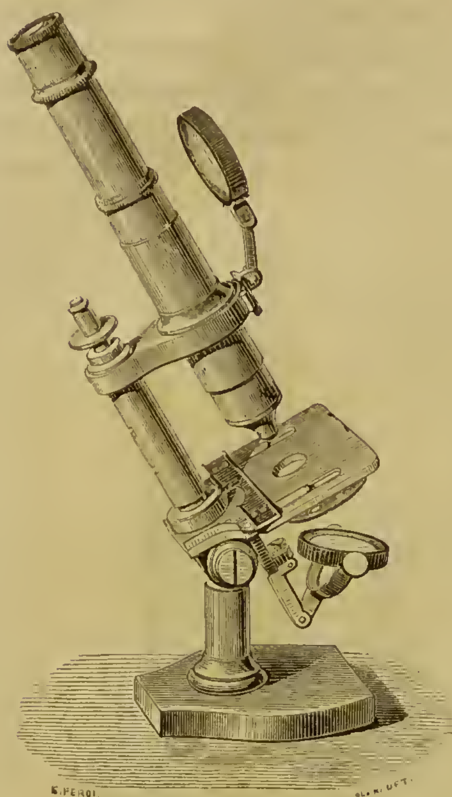


Figur 54.

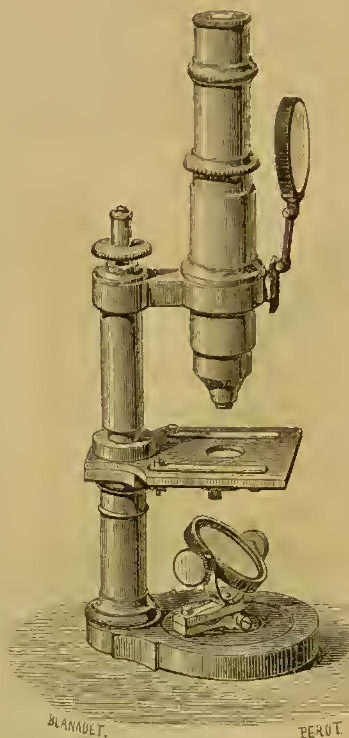
der Ausstattung mit 2 oder 3 Objectiven zu 125—175, resp. 150—200 Fr. angesetzt. Die verstellbaren Spiegel der beiden kleinen Mikroskope sind in Fig. 57 u. 58 zur Veranschaulichung des Mechanismus noch besonders dargestellt.

Ebenso preiswürdig ist auch das Stativ, welches nach Belieben als zusammengesetztes oder als einfaches Mikroskop gebraucht werden kann (Fig. 59). Dasselbe besitzt einen langen Tisch und trägt auf der einen Seite den zur Aufnahme der Doublets bestimmten Arm, auf

der andern eine Säule, welche sammt dem daran befestigten Tubus entfernt werden kann, wenn das Mikroskop als Simplex gebraucht werden soll.



Figur 55.



Figur 56.



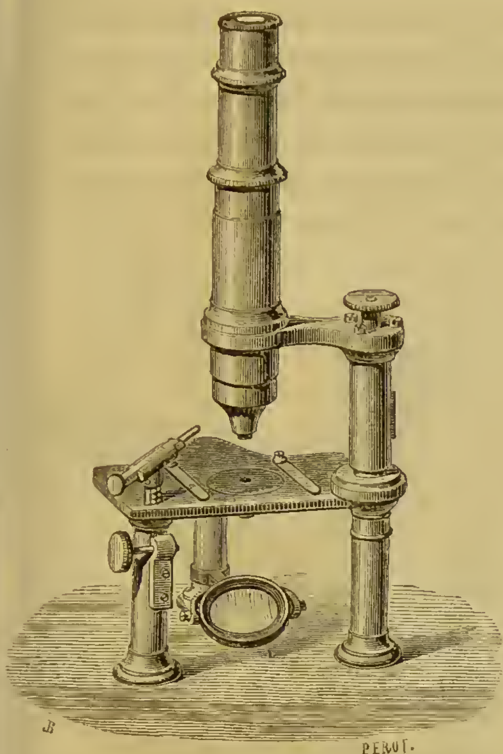
Figur 57.



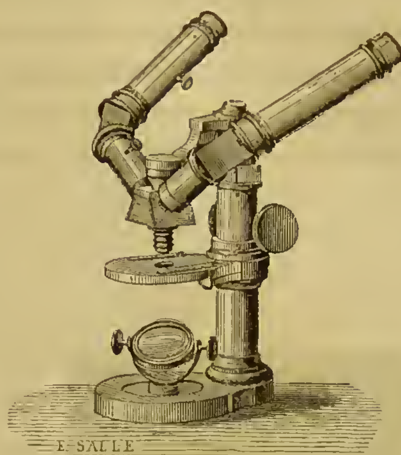
Figur 58.

Ausserdem liefert Nachet auch stereoskopische binoculäre Mikroskope (Fig. 60), welche für beide Augen berechnet sind, sowie ferner binoculäre und triooculäre, an denen zwei oder drei Personen zu gleicher Zeit beobachten können (Fig. 61). Alle diese Instrumente sind indess zunächst nur für schwächere Vergrösserungen bestimmt. Sie werden daher gewöhnlich nur mit den Objectiven Nr. 0, 1 und 3 ausgerüstet, doch sollen die neuesten Verbesserungen,

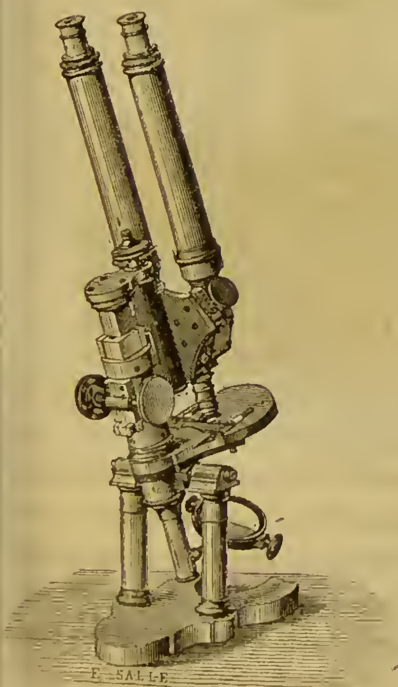
wie Nachet versichert, auch die Anwendung der Objective 5 und 6 gestatten.



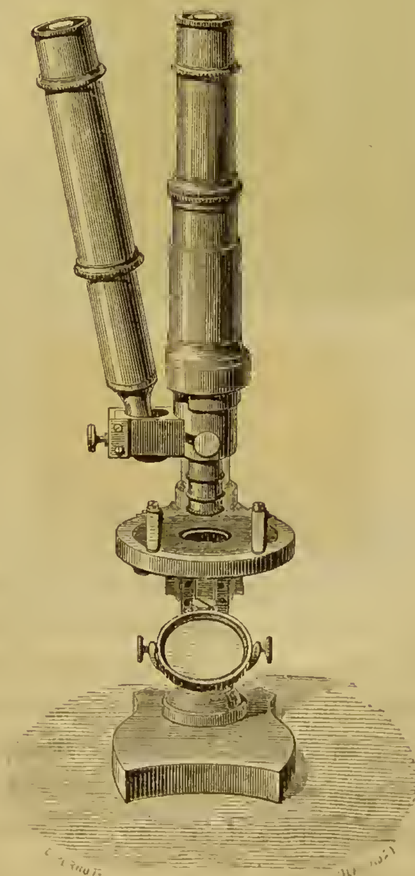
Figur 59.



Figur 61.

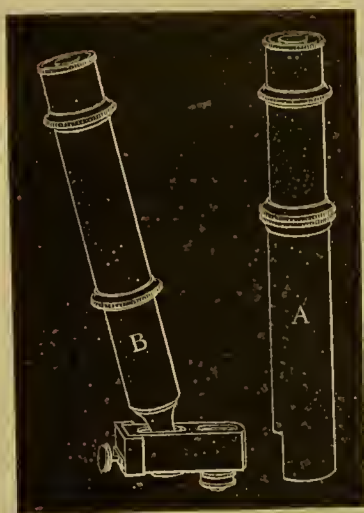


Figur 60.

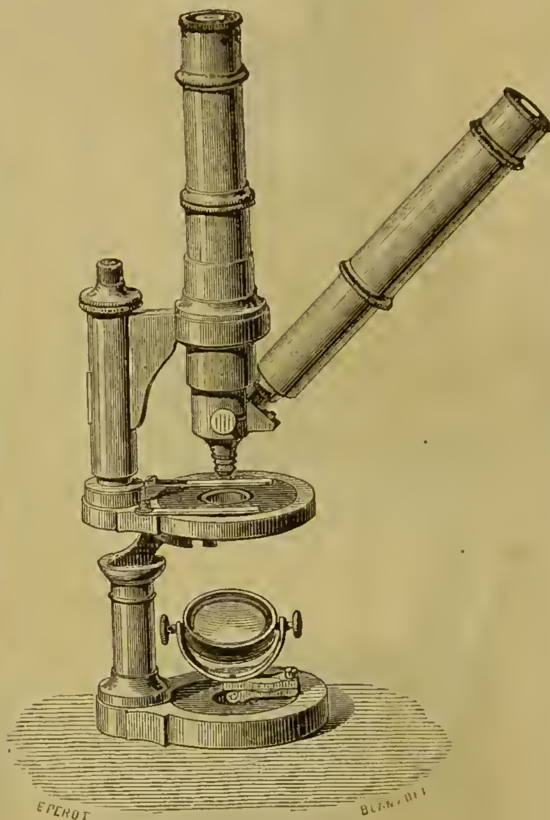


Figur 62.

Der binoculäre Appparat (appareil binoculaire [Fig. 62]), welchen Nachet um 150 Fr. liefert, gestattet die Umwandlung eines gewöhnlichen Mikroskops in ein stereoskopisches. Die Mikroskopröhre wird durch eine andere *A* (Fig. 63) ersetzt, mit welcher die Röhre *B*, die unten in das Kästchen mit den Prismen eingefügt ist, fest verbunden werden kann. Eine ähnliche Vorrichtung dient zur Umwandlung eines gewöhnlichen Mikroskops in ein binoculäres für zwei Beobachter (Fig. 64); sie wird mit 2 Ocularen zu 80 Fr. geliefert.



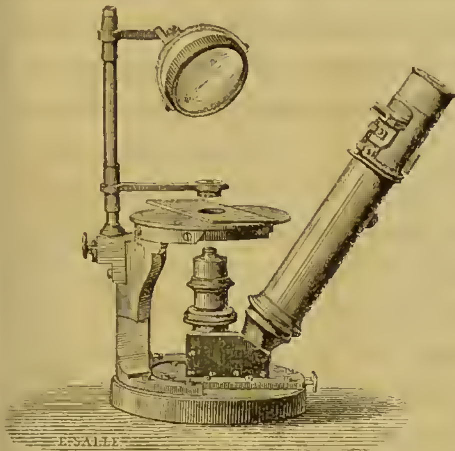
Figur 63.



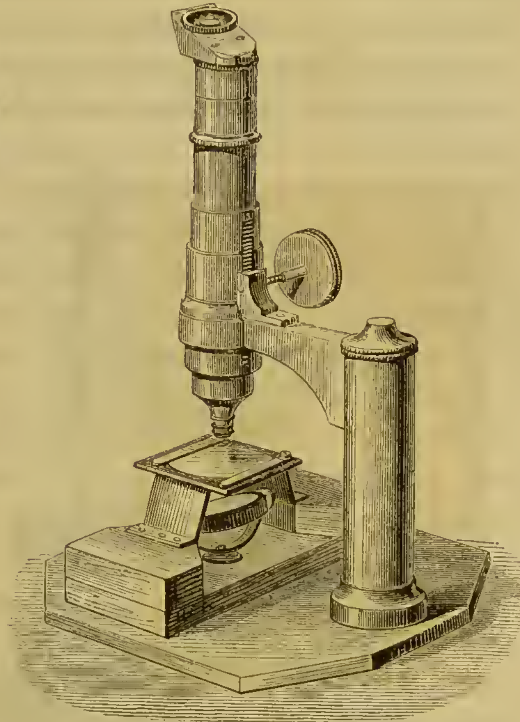
Figur 64.

Von eigenthümlicher Construction ist das für chemische Untersuchungen eingerichtete umgekehrte Mikroskop (Fig. 65), bei welchem der Beleuchtungsspiegel über und das Objectivsystem unter dem Objecttisch angebracht ist, um dadurch der Beschädigung der Linsen durch Dämpfe, Säuren etc. vorzubeugen. Der Mikroskopkörper ruht auf dem scheibenförmigen Fuss und kann mittelst eines Schlittens unter dem Objecttisch hervorgezogen werden. Die Herumlenkung der Strahlenbündel geschieht durch zweimalige innere Reflexion in einem entsprechend geschnittenen Prisma. — Neuer-

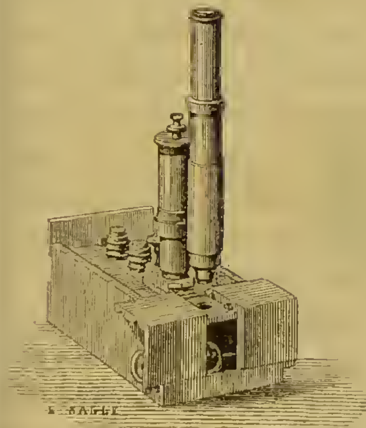
dings hat Nachet auch ein besonderes Präparirmikroskop für Laboratorien (M. de dissection pour laboratoire [Fig. 66]) construirt, welches mit einem bildumkehrenden Oculare versehen ist und c. 8—70 mal vergrössert. Der in der Figur dargestellte Objecttisch mit Holzfuss ist zur Beobachtung bei durchfallendem Lichte bestimmt und kann nach Belieben entfernt und durch Glasgefässe, Korkplatten etc. ersetzt werden.



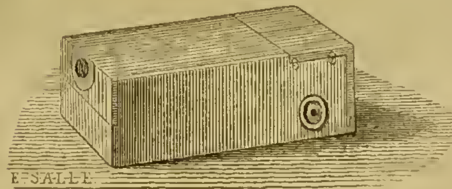
Figur 65.



Figur 66.



Figur 67.

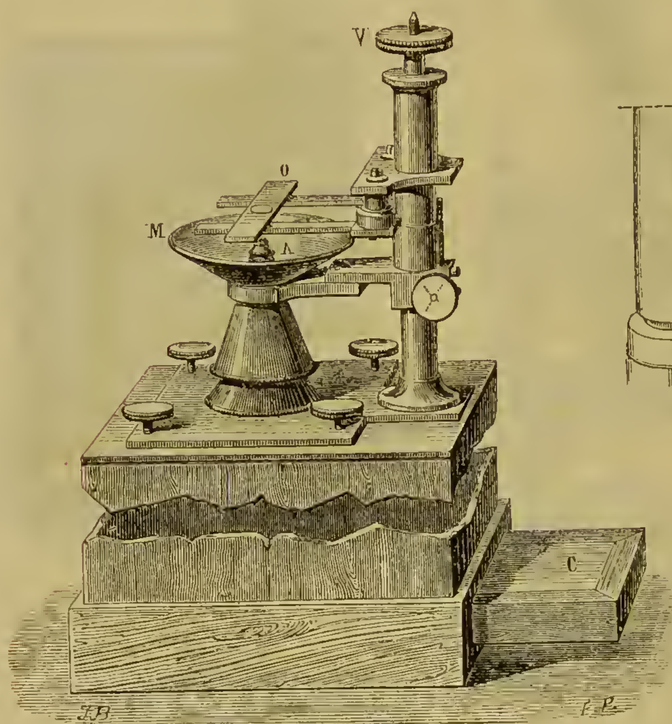


Figur 68.

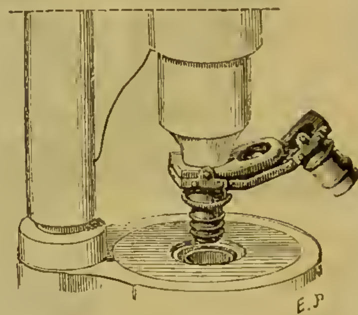
Sehr sinnreich ist ferner das Taschenmikroskop Nachet's (Fig. 67) eingerichtet, welches mit Zubehör zu 200 Fr. angesetzt ist. Dasselbe kann in ein Kästchen von 90 m.m. Länge und 50 m.m. Breite (Fig. 68) eingepackt werden und besitzt ein Rohr von nur 11 m.m. Durchmesser und (wenn die innere Röhre ausgezogen ist) 10 Centimeter Länge, ist aber dessenungeachtet für die meisten Untersuchun-

gen vollkommen ausreichend, da es mit den nämlichen Objectiven ausgestattet wird, wie die grösseren Instrumente, und überdiess einen hinlänglich grossen Objecttisch besitzt.

Im neuesten Katalog von 1863 figurirt auch zum ersten Mal ein photographisches Mikroskop (Fig. 69). Dasselbe ist zur Beleuchtung undurchsichtiger Körper mit einem grossen Lieberkühn'schen Spiegel *M* ausgestattet, welcher das von oben einfallende Licht nach dem auf zwei Glasstangen ruhenden Objectträger *O* reflectirt. Beim Photographiren mit durchfallendem Licht wird über dem Object ein Condensor angebracht (in der Figur nicht dargestellt), welcher das Licht von einem zweckdienlich aufgestellten Spiegel erhält.



Figur 69.



Figur 70.

Die scharfe Einstellung des Objectivbildes auf die empfindliche Platte *C*, auf welche das Auge durch ein kleines Perspectiv herunterblickt, geschieht durch die Schraube *V*. Mit einer Reihe von Objectiven ausgestattet, wird dieses Instrument zu 300 Fr. berechnet.

Endlich verdient noch der Revolver-Objectivträger (Revolver porte-objectif [Fig. 70]) hier erwähnt zu werden. Derselbe gestattet Objective von verschiedener Stärke während der Beobachtung rasch zu wechseln, indem man sie um eine schief stehende Axe dreht.

98 **Simon Plössl** in Wien. Das grosse zusammengesetzte Mikroskop ruht auf einem kreisrunden messingenen Postament und kann auf demselben mittelst eines horizontalen Armes um seine Axe gedreht werden. Mit diesem Arm steht nämlich die dreikantige Stange in Verbindung, welche den unbeweglichen Objecttisch und das durch Triebwerk verschiebbare Rohr trägt. Die feinere Einstellung, wie sie bei den starken Vergrösserungen nothwendig wird, geschieht durch eine Mikrometerschraube. Der concave auf der Rückseite geschwärzte Beleuchtungsspiegel ist mit einem beweglichen Doppelarme versehen und nach allen Richtungen der Ebene verstellbar. Zur Beleuchtung mit auffallendem Licht dient ein sphärisches Prisma nach Selligue, zur Verstärkung des Lichtes (vorzugsweise des Lampenlichtes) eine Beleuchtungslinse mit besonderem Fusse. Der obere Theil der ungewöhnlich langen Mikroskopröhre kann abgeschraubt und nach Einschaltung eines Prisma rechtwinklig angesetzt werden, wodurch zunächst das Horizontal-Einsehen während der Beobachtung, zugleich aber auch bei Anwendung des Sömmerring'schen Spiegelchens das Projiciren des Bildes auf die Ebene des Arbeitstisches möglich gemacht wird. Die Ocularmikrometer mit Theilungen der Wiener Duodecimallinie in 30 und 60 Theile oder des Millimeters in 25 und 50 Theile sind zum Einschieben in das Ocular Nr. 2 eingerichtet und können mittelst einer an der Fassung der Ocularlinse angebrachten Schraube scharf eingestellt werden. Das ganze Instrument ist c. 150 m.m. höher als die meisten anderen Mikroskope, so dass man an einem Tisch von gewöhnlicher Höhe nur stehend damit arbeiten kann. — Mit vollständiger optischer Ausstattung (drei Oculare, neun achromatischen Linsen und einem noch stärkeren Linseneinsatz) nebst Glasprisma, Sömmerring'schem Spiegel und den genannten Beleuchtungsapparaten kommt ein solches Instrument auf 292 fl. österr. Währung zu stehen. Schraubenmikrometer, Polarisationsvorrichtungen u. dgl. sind nicht inbegriffen.

Die älteren Stative mit einem zum Zusammenlegen eingerichteten Dreifuss sind in den neuesten Preisverzeichnissen nicht mehr aufgeführt.

Das kleine zusammengesetzte Mikroskop ist ähnlich construirt, nur fehlt der horizontale Arm zur Rotation um die Mikroskopaxe und die Mikrometerschraube zur feineren Einstellung. Die dreikantige Stange, welche Tisch und Rohr trägt, ist hier unbeweglich mit dem runden messingenen Postamente verbunden und die Einstellungsvorrichtung auf ein Triebwerk beschränkt. Die Dimen-

sionen sind durchgehends beträchtlich kleiner als beim grossen Mikroskop, so dass die Gesammthöhe des Stativs nur etwa 30 mm. mehr beträgt als bei den Mikroskopen von Hartnack, Bénèche etc. — Mit zwei Ocularen und sechs achromatischen Linsen (die drei stärkeren mit Correction zum Gebrauche mit und ohne Deckgläser), einer kleineren Beleuchtungslinse und den oben erwähnten Ocularmikrometern ist dieses Instrument zu 95fl. ö. W. angesetzt. Das Glasprisma zum Horizontaleinsehen nebst Sömmerring'schem Spiegel steigert den Preis auf c. 120 fl.

Plössl verfertigt überdiess grössere und kleinere Reisemikroskope, bei welchen der Objecttisch durch Triebwerk gegen die Linsen bewegt wird, ferner ein zusammengesetztes Arbeitsmikroskop, welches aufrechte Bilder liefert. Die grösseren Reisemikroskope sind zum Aufschrauben auf den Mikroskopkasten eingerichtet; die kleineren und das Arbeitsmikroskop besitzen einen messingenen Fuss und werden in ein mit Leder gefüttertes Futteral von Maroquin eingepackt.

99 **F. W. Schiek** in Berlin liefert Mikroskope von sehr verschiedener Grösse, sowohl nach Plössl'schen als nach Oberhäuser'schen Modellen. Nach Schacht ist die Messingarbeit überall vortrefflich und sind die kleinen und mittleren Mikroskope preiswürdig und sehr zu empfehlen.

100 **L. Bénèche** in Berlin. Die grösseren Instrumente haben das Oberhäuser'sche Hufeisenstativ (mit oder ohne drehbaren Tisch) und werden auf Verlangen auch zum Umlegen eingerichtet; die kleineren, welche zu 30 Thlr. angesetzt sind, stehen auf einem runden Fuss und besitzen einen Objecttisch mit Mikrometerbewegung nach Nobert. Der Tisch hängt nämlich mit zwei Stiften, wie eine Klappe in ihren Angeln beweglich, an der Stange des Stativs und wird zum Behuf der feinen Einstellung durch eine Schraube etwas gehoben oder gesenkt. Nach Schacht haben die Instrumente dieser Art in neuester Zeit wesentliche Verbesserungen erfahren, so dass auch bei längerem Gebrauch ein Schlottern des Tisches nicht mehr zu befürchten ist.

Ausserdem fertigt Bénèche auch ganz kleine Mikroskope nach dem Modell von Lerebours in Paris, wo die eine Seitenwand und der Boden des Kastens mit zum Stativ gehören.

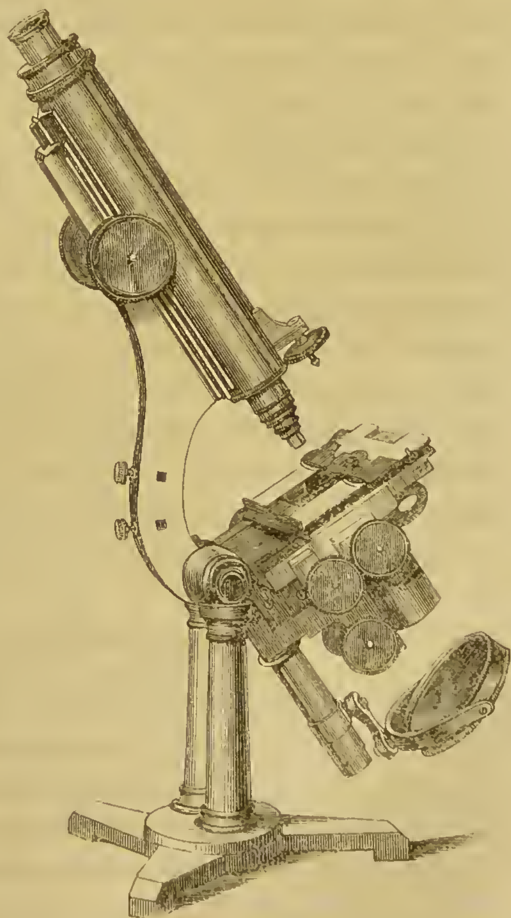
101 **C. Zeiss** in Jena führt ein grosses Hufeisenstativ nach Oberhäuser, dann kleinere Hufeisenstative und solche mit rundem, ringförmigem oder scheibenförmigem Fuss nach eigener Construction. Der Blendungsapparat besteht bei den kleineren Instrumenten aus einer drehbaren gewölbten Scheibe, deren Oeffnungen unmittelbar unter

den Objectträger zu liegen kommen. Die Mikrometerbewegung ist durchweg an der Tubussäule angebracht; der Spiegel wenigstens seitlich, bei den Stativen I, III und IIIb auch nach vorn verstellbar.

F. Belthle (Nachfolger von **C. Kellner**) in Wetzlar. Wir 102
kennen die neueren Mikroskope dieses Instituts nur aus dem Preisverzeichniss. Hienach wird die grobe Einstellung bei den grossen und mittleren Stativen durch Zahn und Trieb, bei den kleinen und kleinsten durch Tubusverschiebung bewirkt. Die feine Einstellung geschieht ohne Ausnahme durch Hebung und Senkung des Rohrs mittelst Mikrometerschraube. Sämmtliche Instrumente sind für schiefe Beleuchtung eingerichtet, die grösseren überdiess um die optische Axe drehbar.

M. Baader in München. Der Körper des Mikroskops ruht 103
auf einem viereckigen, schwarz lackirten Fuss von Gusseisen. Die grobe Einstellung geschieht bei den kleineren Instrumenten wie gewöhnlich durch Tubusverschiebung, bei den grösseren mittelst Zahn und Trieb. Die feine Einstellung vollzieht eine Mikrometerschraube, welche den Tubus hebt und senkt. Der Tisch ist unbeweglich, der Spiegel seitlich verstellbar. — Die kleineren Instrumente sind äusserst preiswürdig (45 fl.) und aller Empfehlung werth.

Smith, Beck & Beck in London. Als Beispiel eines complicirten englischen Stativs mag hier noch das grosse Mikroskop der genannten Firma Erwähnung finden. Dasselbe ist in Fig. 71 dargestellt. Der Körper des Mikroskops hängt an einer horizontalen Axe zwischen zwei Säulen und kann also beliebig geneigt oder horizontal gestellt werden. Die grobe Einstellung 104



Figur 71.

der Mikroskopröhre wird durch ein Triebwerk, dessen geränderte Knöpfe in der Mitte des Tubus angebracht sind, in der Art bewirkt, dass die am Tubus befestigte Stange sich in einer entsprechenden Rinne des gebogenen Armes bewegt. Zur feineren Einstellung dient die etwas tiefer stehende Mikrometerschraube, durch welche ein ausziehbares Stück des Rohrs sich auf und nieder schieben lässt. Der Objecttisch ist mit Schrauben und Schlitten reichlich bedacht und kann mittelst derselben nach allen Richtungen bewegt werden; derselbe gestattet überdiess die Einfügung eines achromatischen Condensors.

Dritter Abschnitt.

Von der Prüfung des Mikroskops.

I.

Prüfung des optischen Vermögens im Allgemeinen.

Nachdem wir in einem frühern Kapitel gezeigt haben, dass alle 105
Eigenschaften, welche das optische Vermögen eines Mikroskops und folglich auch die Schärfe und Klarheit seiner Bilder bedingen, sich eigentlich für jede Vergrösserung nur auf das Freisein von beiden Arten der Aberration reduciren, könnten wir füglich auch die Prüfung des Instrumentes auf diesen einen Punct und auf die Bestimmung der Vergrösserungsziffer beschränken. Zur Beurtheilung eines Mikroskops ist sogar hierüber eine genaue Orientirung nicht einmal nothwendig, da es sich einfach darum handelt, ob dasselbe die Vergleichung mit andern bekannten Instrumenten aushalte, ob es überhaupt den Anforderungen entspreche, die man gegenwärtig an die Mikroskopverfertiger zu stellen berechtigt ist. Mit dieser vorzugsweise praktischen Frage wollen wir uns zu allernächst beschäftigen und erst nach Erledigung derselben den einzelnen Factoren nachgehen, welche bei einer specielleren Prüfung in Betracht kommen.

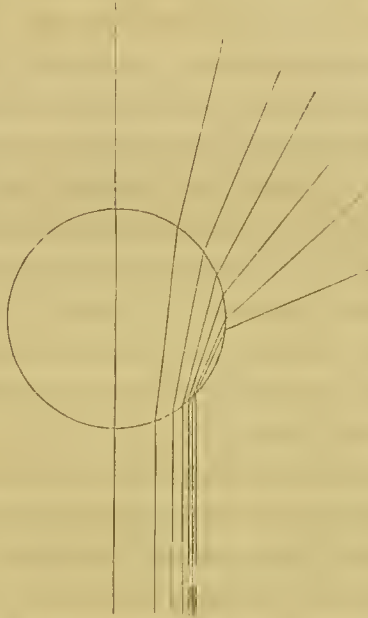
1. Absolutes Unterscheidungsvermögen.

Wie kann also, fragen wir zuerst, die Güte eines Mikroskops 106
taxirt werden, wenn man es vermeiden will, alle Eigenthümlichkeiten und Fehler der Construction zu prüfen, von denen sie abhängt? Gewöhnlich geschieht diess, wie bekannt, durch die sogenannten Probeobjecte, von denen man weiss, dass gewisse Détails bei einer bestimmten Vergrösserung durch die besseren Instrumente noch gelöst werden, während die weniger guten sie entweder gar nicht oder nur undeutlich

zur Wahrnehmung bringen. Aber eben diese Probeobjecte sind es, welche zu den unklaren Begriffen der penetrirenden und definirenden Kraft geführt haben, weil das mikroskopische Bild, wie oben gezeigt wurde, nur von einem bestimmten Theil der brechenden Flächen des Objectivs, bald vom centralen, bald vom peripherischen, aber nicht von der Gesammtwirkung beider abhängig ist. Die Resultate der Prüfung, die man mit solchen Probeobjecten erhält, können daher unmöglich vergleichbar sein, da gerade die Lichtbündel, welche vorzugsweise die Schärfe der Zeichnung bedingen (nämlich die, welche im Bilde die peripherischen Puncte der Lichtpartieen entwerfen und folglich die Schärfe der Schatten bestimmen), bei dem einen Objectiv den vollkommensten, bei dem andern den unvollkommensten Theil der brechenden Flächen treffen. Diese Ungleichheit der Bedingungen kann nur vermieden werden, wenn das Probeobject so beschaffen ist, dass die von ihm ausgehenden Lichtbündel die ganze Oeffnung des Objectivs ausfüllen und also nur in der Intensität, aber nicht in der Neigung differiren. Um dieser Anforderung zu genügen, könnte man es versuchen, Systeme von abwechselnd hellen und dunkeln (d. h. durchsichtigen und undurchsichtigen) Linien nach Art der Nobert'schen Probetäfelchen herzustellen. Es wäre damit, wie bereits bemerkt, der Vortheil verbunden, dass man nach der vorläufigen Prüfung, wobei der einfallende Lichtkegel dieselbe Oeffnung haben müsste, wie das Objectiv, durch einfaches Zurückziehen der Blendung und durch Anwendung ringförmiger Blendungsöffnungen nach Belieben Randstrahlen oder Centralstrahlen innerhalb bestimmter Grenzen der Neigung wirken lassen könnte. Man erreicht übrigens, abgesehen von diesem Vortheil für die speciellere Prüfung, dasselbe Ziel, wenn man als Probeobject nach der von Harting mitgetheilten Methode das von einer Luftblase entworfene Bild eines Drahtnetzes wählt und die Entfernung dieses letzteren so regulirt, dass das Bild eben noch deutlich wahrnehmbar ist. Die Grösse der Maschen an dieser äussersten Grenze der Sichtbarkeit steht alsdann im umgekehrten Verhältniss zum optischen Vermögen und kann folglich als arithmetischer Ausdruck desselben betrachtet werden.

107 Wir wollen diese Prüfungsmethode, weil sie wirklich als die beste empfohlen zu werden verdient, etwas ausführlicher besprechen. Sie vereinigt alle Vorzüge in sich, die wir nach den bisherigen Erörterungen als wesentlich zu betrachten haben. Zunächst verdient hervorgehoben zu werden, dass sie für die verschiedensten Vergrösserungen gewissermassen ein und dasselbe Probeobject zu benutzen ge-

stattet, indem die stets mit gleicher Schärfe entworfenen virtuellen Bilder einer kugelförmigen Luftblase sogar über die Grenzen der Unterscheidbarkeit hinaus verkleinert werden können, ohne dass desswegen das Verhältniss zwischen Licht und Schatten eine Aenderung erleidet. Dazu kommt, dass die Strahlenkegel, welche von den Puncten des virtuellen Bildchens zu kommen scheinen, den vorhin gestellten Anforderungen vollkommen entsprechen, indem sie die Oeffnung des Objectivs unter allen Umständen ganz ausfüllen. Die vom Drahtnetz ausgehenden Lichtbündel, die wegen der Kleinheit der Luftblase als parallelstrahlig zu betrachten sind, erfahren nämlich, wie diess in Fig. 72 veranschaulicht ist, eine solche Brechung, dass sie, den Raum eines weit geöffneten Kegels ausfüllend, nach dem Objectiv divergiren. (Die Figur ist für die Brechung in Wasser nach berechneten Winkeln genau construirt.)

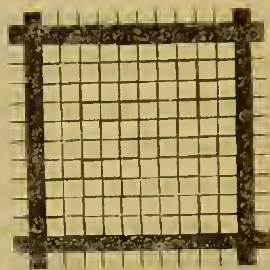


Figur 72.

Auch die rein praktische Seite dieses Verfahrens bietet manche Bequemlichkeit. Die Herstellung von Luftblasen der verschiedensten Grösse ist überaus leicht. Bei der Auflösung von arabischem Gummi in Wasser entstehen sie meist von selbst, weil die zwischen den Pulvertheilchen enthaltene Luft nicht ganz absorbirt wird. Ebenso einfach erhält man dieselben, wenn man einen Tropfen Glycerin oder Oel, den man auf den Objectträger gebracht hat, mit einem flachen Gegenstande, z. B. mit einer Messerklinge, wiederholt schlägt, bis er zu schäumen beginnt, und dann mit einem Deckgläschen bedeckt, wobei jedoch die Vorsicht zu beachten, zur Verhütung der Abplattung irgend einen geeigneten Gegenstand (Baumwollenfasern, Papierschnitzel u. dgl.) zu unterlegen. Auch Kohlensäurebläschen, welche man leicht erhält, wenn man etwas Kreidepulver und hierauf ein Tröpfchen verdünnter Salzsäure in die Flüssigkeit bringt, leisten natürlich denselben Dienst. Bei der grossen Auswahl von Luftblasen der verschiedensten Grösse ist es möglich, mit demselben Drahtnetz, auch wenn die Objectdistanz nur wenig verändert wird, Bilder zu erzielen, welche nach Belieben für die

stärkeren oder schwächeren Vergrösserungen die Grenze der Unterscheidbarkeit erreichen.

Um die Grösse der Maschen an der äussersten Grenze der Unterscheidbarkeit noch sicher bestimmen zu können, verfährt man am besten auf folgende Weise. Ein quadratförmiges Stück des Drahtgeflechtes, welches circa 5×5 bis 10×10 Maschen enthält, wird durch schwarze Papierstreifen eingerahmt (Fig. 73) und alsdann zwischen Spiegel und Luftblase in ein solches Niveau gebracht, dass das Bildchen eben noch sichtbar ist. Misst man nun die Länge einer ganzen Quadratseite, so braucht man bloss durch die bekannte Zahl der Interstitien, die auf eine solche Seite kommen, zu dividiren, um den Abstand der Drähte oder, was dasselbe ist, den Durchmesser der Maschen zu erhalten. Hat z. B. das ganze Quadrat, wie es in obiger Figur dargestellt ist, noch einen Durchmesser von 7,5 Mik., so ist der Abstand der Drähte (wenn man beiderseits eine halbe Drahtdicke vernachlässigt) genau 10 Mal kleiner, also = 0,75 Mik.*).


Figur 73.

Zum Auflegen des Drahtnetzes eignet sich am besten ein Halter, welcher aus einem horizontalen, mit einem Ring versehenen Arm besteht, der an einem verticalen verschiebbar ist. Man kann sich jedoch auch mit einer Cylinderblendung behelfen, indem man das Object mittelst Wachs am untern Rande derselben befestigt und durch Zurückziehen des ganzen Apparates die Entfernung regulirt. Es kann überhaupt Niemanden schwer fallen, diese Prüfungsmethode mit den gerade zu Gebote stehenden Mitteln auszuführen. Man gebrauche nur immer die Vorsicht, Luftblasen zu wählen, welche nette und scharfe Bilder liefern.

108 Wir geben nun nachstehend eine kleine Zusammenstellung der Resultate, welche die mit verschiedenen Instrumenten angestellten Messungen ergeben haben. Die Grenze der Sichtbarkeit wurde durchweg da angenommen, wo die Maschen des Netzes auch von einem mit

*) Harting giebt bei solchen Messungen die Dicke der Drähte und die Grösse der Interstitien gesondert an. Wir halten diese Unterscheidung für die in Frage stehende Prüfung nicht gerade für nothwendig, da wir bei Anwendung verschiedener Drahtgeflechte, bei denen das Verhältniss der Drahtdicke zum Maschenraum zwischen 1:5 und 1:2 schwankte, immer nahezu dieselben Resultate erhielten.

dem Object nicht vertrauten Beobachter eben noch deutlich erkannt werden können. Da hiebei die Intensität der Beleuchtung begreiflicher Weise nicht ganz gleichgültig ist, so wurden die meisten Bestimmungen bei hellem und bewölktem Himmel öfter wiederholt und die mittleren Grenzwerthe als maassgebend betrachtet. Als Durchmesser der Maschen ist nach der oben mitgetheilten Berechnungsweise der Abstand der Drahtaxen bezeichnet; derselbe ist natürlich gleich der Summe der Durchmesser eines Drahtes und eines Interstitiums.

Die auf Amici bezüglichen Ziffern wurden dem Werke Hartings (das Mikroskop p. 301 und 722) entnommen und dabei die Objective eines älteren Instruments vom Jahr 1835 mit B, die eines neueren vom Jahr 1849 mit A bezeichnet. Die unter A angeführten Plössl'schen Objective gehören zu einem älteren grossen Mikroskop; nur 0* ist neueren Datums und mit einer Correctionsvorrichtung versehen. Die Objective B bilden die optische Ausstattung des »kleinen zusammengesetzten« Mikroskops, welches im neuesten Preisverzeichniss zu 95 fl. angesetzt ist, und wurden auch an diesem geprüft. O ist der starke Linseneinsatz mit Correctionsvorrichtung zum Gebrauche mit und ohne Deckplättchen. Die Mikroskope von Bénèche und Hartnack wurden in den letzten Jahren bezogen und können daher als ganz neu bezeichnet werden. Das zweite Objectiv Nr. 9 des Letzteren ist das Immersionssystem mit Correctionsapparat. Auch das Baader'sche Instrument war ganz neu. Das dazu gehörige Objectiv Nr. 3 wurde nachträglich am Stativ von Bénèche und mit dessen Ocular Nr. 2 geprüft.

	Objectiv. Nr.	Brennweite in Millimetern.	Ocular. Nr.	Ocularvergrösserung.	Gesammtvergr. bei 25 Cent. Sehweite.	Durchmesser eben noch erkennbarer Maschen in Mik.
Oberhäuser.	1	52	3	4	18	9,24
	2	30	3	»	33	5,04
	4	18,6	3	»	48	3,3
Hartnack.	4	11,3	3	4,7	100	1,6
	7	3,3	3	»	340	0,7—0,62
	9	2,02	3	»	555	0,58
	9 Imm.	1,87	3	»	658	0,45
Amici. A	2	7,45	1	7	217	0,63
	6	4,00	1	»	423	0,56
	11	2,67	1	»	650	0,43
B	1	28	1	7	50	2,50
	2	8,86	1	»	151	0,9
	3	6,89	1	»	206	0,756
	4	3,87	1	″	374	0,671

		Objectiv. Nr.	Brennweite in Millimetern.	Ocular. Nr.	Ocularvergrösserung.	Gesammtvergr. bei 25 Cent. Sehweite.	Durchmesser eben noch erkennbarer Maschen in Mik.
Plössl.	A	1	—	1	5,1	40	3,6
	A	1. 2. 3.	13	1	»	114	1,5—1,15
	A	5. 6. 7.	3,9	1	»	375	0,78
	A	0†	2,73	1	»	530	0,75—0,70
	B	1. 2. 3.	12,8	1	10	130	2,15
	B	0	5,4	1	»	310	1,00—0,91
Kellner.		1	14,6	1	»	80	—
		3	3,87	1	»	330	0,8
Bénèche.		1	13,14	2	4,1	80	1,6 —1,7
		7	4,7	2	»	227	0,9 —0,81
		8	2,95	2	»	368	0,65—0,60
		9	3,42	2	»	320	0,7 —0,62
		11	2,22	2	»	100	0,62—0,54
Baader.		1	15,6	1	6,7	72	2,27
		2	4,67	1	»	270	0,8
		3	3,65	—	4,4	300	0,75

109 Aus dieser Zusammenstellung geht zunächst hervor, dass das optische Vermögen des Mikroskops weder mit der Stärke der Objective, noch mit der Gesammtvergrösserung gleichen Schritt hält. Von welchem bestimmten Fall man auch ausgehen mag, es bedarf stets einer mehr als doppelt so starken Vergrösserung, um den Durchmesser der eben noch unterscheidbaren Maschen auf die Hälfte zu reduciren, und umgekehrt einer weniger als halb so starken, um doppelt so grosse Maschen noch erkennen zu lassen. Man darf sonach von den schwächern Systemen mit Recht verlangen, dass sie relativ die grösste optische Kraft entwickeln, und hinwiederum bei den stärkeren und stärksten die Anforderungen nicht zu hoch schrauben. Wenn bei letzteren das Steigen der Vergrösserungsziffer bis zur Grenze des Erreichbaren überhaupt noch einen entschiedenen Gewinn bringt, so hat der Optiker geleistet, was man gegenwärtig von ihm erwarten darf. Uebrigens richtet sich, wie man sieht, das Unterscheidungsvermögen der Mikroskope mehr nach der Brennweite der Objective als nach der Vergrösserungsziffer. Die geringe Steigerung der Deutlichkeit, welche man bei Anwendung stärkerer Oculare beobachtet, steht in keinem Verhältniss zu der dadurch bewirkten Grössenzunahme des Bildes. Nur die Amici'schen Mikroskope leisten ausnahmsweise mit starken Ocularen und auffallend schwachen Objectiven eben so viel, als die neueren Instrumente mit vorwiegender Objectivvergrösserung.

Wenn wir zweitens aus den mitgetheilten Zahlenreihen diejeni-

gen hervorheben, welche sich auf die stärksten Systeme beziehen, womit kleinere Instrumente gewöhnlich ausgestattet sind, wie z. B. das System 7 von Oberhäuser und Hartnack, System 9 von Bénèche etc., so schwanken die Brennweiten derselben fast durchgehends zwischen 3 und 4 Millimeter und die Vergrösserungszahlen zwischen 300 und 350—375. Man darf von solchen Combinationen verlangen, dass sie die Maschen des Drahtgeflechtes bei einem Durchmesser von 0,7—0,8 Mik. noch deutlich erkennen lassen. Die vorzüglichsten derselben erlauben sogar eine Verkleinerung dieses Durchmessers auf 0,55—0,6 Mik. Der starke Linseneinsatz zu dem Plössl'schen kleinen Mikroskop ist unter den angeführten der einzige, welcher bei etwas grösserer Brennweite und allerdings nur 30maliger Objectivvergrösserung beträchtlich hinter den gestellten Anforderungen zurückbleibt. Er ist nach unserem Dafürhalten für ein Mikroskop, das bei den meisten Untersuchungen ausreichend sein soll, etwas zu schwach. — Das Objectiv Nr. 8 von Bénèche erwies sich auffallender Weise etwas stärker als das System Nr. 9, was sich auch bei der Prüfung mit organischen Probeobjecten mehr oder weniger deutlich aussprach; doch stehen sich die beiden Nummern immerhin so nahe, dass sie füglich als eine einzige betrachtet werden könnten. Ein zweites Objectiv Nr. 9, welches wir zu vergleichen Gelegenheit hatten, hielt so ziemlich die Mitte zwischen denselben; seine Brennweite betrug 3,15 m.m., die Gesammtvergrösserung mit Ocular Nr. 2 c. 340 *). Das optische Vermögen war aber dessenungeachtet etwas geringer als bei dem in der Tabelle aufgeführten Nr. 9.

Die absolut stärksten bis jetzt hergestellten Systeme, die wir zu untersuchen Gelegenheit fanden, worunter namentlich das Immersionssystem Nr. 9 von Hartnack, lassen noch Maschen von 0,4—0,45 Mik. Diameter mit den gewöhnlichen zur Beobachtung benutzten Ocularen unterscheiden und ergeben bei der günstigsten Verstärkung der Ocularvergrösserung noch eine Steigerung des optischen Vermögens bis auf c. 0,3 Mik. Maschendurchmesser. Ob die besten englischen Objective mehr leisten, ist uns nicht bekannt**).

---

*) In der dem Mikroskop beigegebenen Tabelle ist die Vergrösserung von Nr. 9 ebenfalls zu 340 angegeben, die von Nr. 8 dagegen nur zu 240. Hienach scheint eine Verwechslung stattgefunden zu haben.

**) Die Hartnack'schen Objective Nr. 9 und 10 gehören gegenwärtig unstreitig zu den besten, die man kennt. So weit wir nach eigenen Beobachtungen und zuverlässigen Mittheilungen darüber urtheilen können, werden sie auf dem

Wir bemerken drittens, dass die Messungen, welche man in der angegebenen Weise ausführt, bei Objectiven mit grossem Oeffnungswinkel nothwendig etwas höhere Ziffern für die kleinsten noch unterscheidbaren Abstände ergeben müssen, als ähnliche Beobachtungen an Diatomeenpanzern bei günstiger schiefer Beleuchtung. Denn in letzterem Falle rührt das Bild bloss von Randstrahlen her, welche die kleinsten Aberrationen zeigen, während bei der ersteren Beobachtungsart günstige und ungünstige Strahlen zum Bilde beitragen, womit dann natürlich der Nachtheil verbunden ist, dass die Grenzlinien zwischen Schatten und Licht nicht so scharf und die Schatten selbst nicht so dunkel sind, folglich das ganze Bild sich etwas früher verwischt. Es ist z. B. noch möglich, mit den Objectiven Nr. 9 von Bénèche und Nr. 7 von Hartnack die Querstreifen von Pleurosigma angulatum ganz deutlich zur Wahrnehmung zu bringen, obschon dieselben jedenfalls etwas weniger als 0,5 Mik. von einander abstehen. Dieser Abstand verhält sich aber zu den oben gefundenen Mittelwerthen nahezu wie 10:13. Jene Mittelwerthe erfahren indess annähernd dieselbe Steigerung (wenigstens bis zu c. 0,5—0,51 Maschendurchmesser), wenn die Centralstrahlen durch geeignete Blendungen, die man am bequemsten über der hintersten Linse anbringt, abgehalten werden, — ein Beweis, dass die eben gegebene Erklärung vollkommen begründet ist.

2. Relatives Unterscheidungsvermögen.

110 Obschon im Vorhergehenden der gegenwärtige Standpunct der praktischen Optik gewissermassen arithmetisch bestimmt ist, insofern nach den mitgetheilten Zahlen der Grad der Vollkommenheit, den die besseren Instrumente besitzen, jederzeit bemessen werden kann, so gewährt es doch ein besonderes Interesse, das bereits Erreichte mit dem zu vergleichen, was nach der Theorie erreicht werden müsste, wenn das Mikroskop in jeder Beziehung mathematisch vollkommen wäre. Es ist geometrisch klar, dass mit einem solchen Instrument das

---

Continent von keinen anderen übertroffen, in Deutschland von keinen erreicht. Die Objective von Hasert, welche nach der Ankündigung mehr leisten sollen, a's die besten englischen und französischen, und wovon wir zwei (das stärkere hatte eine Brennweite von 1,81 m.m.) zu untersuchen Gelegenheit hatten, halten die Vergleichung mit Nr. 9 von Hartnack nicht aus. Sie stehen ihm zwar in der Auflösung gewöhnlicher Probeobjecte sehr nahe, bleiben dagegen in anderen Fällen, wenn es sich z. B. um die feine Streifung aufgequollener Membranen u. dgl. handelt, ganz entschieden zurück.

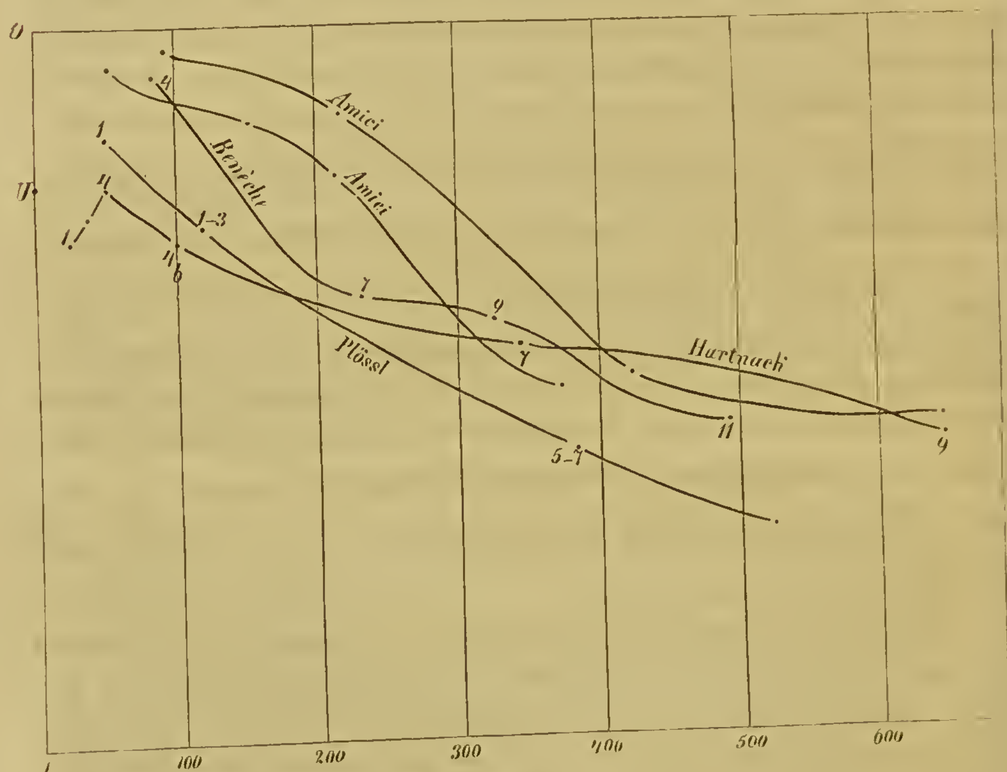
Bild eines Drahtgeflechtes bei m maliger Vergrösserung gerade so deutlich gesehen werden müsste, als würde dasselbe in m fachem Maassstab mit blossem Auge betrachtet. Nur die Lichtstärke des Bildes ist, weil abhängig vom Oeffnungswinkel des Objectivs, nicht nothwendiger Weise dieselbe, und insofern dieser Umstand auf die Unterscheidbarkeit der Maschen Einfluss übt, ist es allerdings denkbar, dass auch ganz vollkommene Instrumente mit der Vergrösserungszahl nicht gleichen Schritt halten; sie können relativ weniger, unter Umständen auch mehr leisten als das unbewaffnete Auge. Wir wollen indess der Einfachheit wegen vorläufig annehmen, die Lichtstärke des Mikroskops sei entweder $= 1$, oder die Wahl der Lichtquelle werde stets so getroffen, dass die resultirenden Bilder gleiche Helligkeit besitzen. Ist alsdann D der Durchmesser der Maschen an der Grenze der Sichtbarkeit bei unmittelbarem Sehen, d der Durchmesser derselben bei einer bestimmten Vergrösserung m, so ist (abgesehen von allfälligen Einflüssen physiologischer Natur) $d = \frac{D}{m}$ oder was auf dasselbe herauskommt $\frac{D}{md} = 1$, wenn das Instrument vollkommen, dagegen $\frac{D}{md} < 1$, wenn es unvollkommen ist. Im letzteren Falle steht natürlich der grössere oder kleinere Werth des Bruches in Beziehung zum optischen Vermögen; er giebt aber nicht die absolute Grösse desselben an, sondern nur sein Verhältniss zur Leistungsfähigkeit eines vollkommenen Instruments. Wir können daher auch sagen, $\frac{D}{md}$ sei der mathematische Ausdruck für das relative Unterscheidungsvermögen.

Die Grösse D lässt sich leicht bestimmen, indem man in Ermangelung hinreichend grosser Luftblasen ein geeignetes Objectiv, z. B. Nr. 7 von Oberhäuser, so auf den Objectträger bringt, dass seine Vorderfläche nach oben gekehrt ist, und hierauf das von demselben entworfene Bild des Drahtnetzes durch die leere Mikroskopröhre, oder nöthigenfalls nach Wegnahme derselben, mit blossem Auge beobachtet. Man hält dabei das letztere in derjenigen Entfernung vom Object, für welche es sich am leichtesten accommodirt, und bestimmt schliesslich, wenn das Bildchen eben noch deutlich erkennbar ist, auf mikrometrischem Wege die Grösse desselben.

Man erhält jedoch auf diese Weise, und wie uns scheint ganz allgemein bei ähnlichen Beobachtungen mit blossem Auge, nicht so übereinstimmende Resultate, wie beim Sehen durchs Mikroskop. Un-

sere öfter wiederholten Messungen ergaben z. B. bei einer Schweite von $200^{\mathrm{m.m.}}$ für D Werthe, die zwischen 100 und 128 Mik. schwanken, welche Grössen, wenn man sich das Bildchen in der conventionellen Entfernung von $250^{\mathrm{m.m.}}$, für welche die Vergrösserungen berechnet sind, projicirt denkt, beziehlich auf 125 und 160 Mik. steigen.

112 Unter diesen Verhältnissen dürfte die graphische Darstellung sich wohl am besten dazu eignen, die Resultate der Rechnung dem Auge in übersichtlicher Weise vorzuführen, weil die Construction dieselbe bleibt, mag man diese oder jene Vergrösserung als Ausgangspunct wählen. Wir haben daher auf eine tabellarische Zusammenstellung verzichtet und dafür in Fig. 74 die Vergrösserungszahlen nach



Figur 74.

einem ganz beliebigen Maassstab als Abscissen und die entsprechenden Werthe von $\frac{D}{md}$ nach einem beliebigen anderen Maassstab als Ordinaten aufgetragen. Die Verbindung der den zusammengehörigen Objectivsystemen entsprechenden Endpuncte der Ordinaten durch Linien gestattet alsdann sowohl die Vergleichung der Systeme unter sich, als auch der Leistungen der betreffenden Optiker. Die absolute Grösse von D kommt erst in Betracht, wenn es sich um Bestimmung

der dem blossen Auge (Vergr. 1) entsprechenden Ordinate handelt, und man kann sich dieselbe für jeden beliebigen Werth von D leicht hinzudenken. In der Figur entspricht der Punct U dem oberen Grenzwerth von 160 und der Punct O dem untern Grenzwerth von 125 Mik. Maschendurchmesser.

Was an vorstehender Figur zunächst in die Augen springt, ist 113
die auffallende Thatsache, dass die am weitesten hinaufsteigenden Curven sogar die dem unbewaffneten Auge entsprechende Niveaulinie, wenn wir den mittleren Werth als maassgebend betrachten, überschreiten. Es gilt diess nicht bloss für die Curve der Amici'schen Objectivsysteme, deren Vergleichbarkeit mit den übrigen man am Ende noch in Zweifel ziehen könnte, weil sie nach Messungen eines andern Beobachters construirt ist, welcher sogar ausdrücklich hervorhebt, dass diese nämlichen Objectivsysteme hinsichtlich ihres optischen Vermögens dem blossen Auge nachstehen (Harting l. c. pag. 306) — es gilt, nur in etwas weniger auffallendem Grade, auch für das Objectiv 4 von Bénèche. Wir bemerken übrigens, dass die auf die Oberhäuser'schen Mikroskope bezüglichen Messungen Harting's mit den unsrigen übereinstimmen und dass bei dem anerkannten Ruf der Amici'schen Objective kein Grund vorhanden ist, den dargestellten Verlauf der betreffenden Curven für unwahrscheinlich zu halten. Die Differenzen in den Schlussfolgerungen scheinen einzig und allein auf den allerdings nicht übereinstimmenden Beobachtungen mit blossem Auge zu beruhen*).

Es ist somit immerhin als sicher zu betrachten, dass es Mikro- 114
skope giebt, die bei Anwendung schwächerer Vergrösserungen, trotz ihrer Unvollkommenheit, mehr leisten, als ein ganz vollkommenes, ideales Instrument der Theorie zufolge leisten müsste. Offenbar kann

*) Wie wenig überhaupt solche Beobachtungen übereinstimmen, zeigt die von Harting (pag. 71) mitgetheilte Tabelle, in welcher die Gesichtswinkel der Maschen an den Grenzen der Unterscheidbarkeit für 4 verschiedene Beobachter zusammengestellt sind. Wir halten indess die dabei zu Grunde gelegte Beobachtungsmethode, nach welcher das Drahtnetz direct beobachtet und die Objectdistanz bis zu 3 Meter vergrössert wird, nicht für zweckdienlich, da man nicht wohl annehmen kann, dass das Auge sich für verschiedene Entfernungen immer gleich gut accommodire. Jedenfalls sind die Messungen an dioptrischen Bildern, wenn sie bei möglichst günstigem Abstand des Auges angestellt werden, behufs einer Vergleichung mit mikroskopischen Beobachtungen vorzuziehen. Das Netzhautbildchen entsteht alsdann im einen wie im anderen Fall unter annähernd gleichen Bedingungen, und die Reduction auf die conventionelle Entfernung von 25 Centim. ist Sache der Rechnung.

diese paradoxe Erscheinung ihre Erklärung nur in Eigenthümlichkeiten finden, welche die mikroskopische Wahrnehmung, mögen nun die brechenden Linsensysteme mehr oder weniger unvollkommen sein, vom Sehen mit blossem Auge unterscheiden. Als solche Eigenthümlichkeiten lassen sich anführen: 1) die vom Oeffnungswinkel abhängige Verschiedenheit der Lichtstärke, wovon bereits oben die Rede war; 2) der Umstand, dass die aus dem Mikroskop ins Auge tretenden Lichtbündel meist weniger als 1 m.m. Durchmesser haben und folglich die Pupille nur theilweise ausfüllen; 3) die chromatische Abweichung dieser Lichtbündel, welche bekanntlich nie ganz aufgehoben werden kann; 4) die sphärische Abweichung derselben.

Von diesen 4 Puncten — und wir wüssten keine weiteren hinzuzufügen — fällt der erste, wie die experimentelle Prüfung sogleich herausstellt, ausser Betracht; denn die Erscheinung bleibt dieselbe, auch wenn die Lichtstärke des mikroskopischen Bildes durch geeignete Wahl der Beleuchtung so geregelt wird, dass das unbewaffnete Auge sich in dieser Hinsicht sogar im entschiedenen Vortheil befindet. Ebenso wenig kann die unter 4) erwähnte sphärische Abweichung den Ausschlag geben, weil das Auge für Lichtbündel, welche annähernd in der Richtung seiner Axe auffallen, eine merkliche Aberration der Randstrahlen nicht hervorruft*) und folglich an eine Compensation einer solchen Abweichung durch die entgegengesetzte der einfallenden Strahlen nicht wohl gedacht werden kann. Dagegen muss der zweite Punct, nämlich die Verschmälerung der Lichtkegel bei übrigens gleicher Lichtstärke, einen günstigen Einfluss üben, weil dadurch die Schärfe der Netzhautbilder auch bei einem optisch vollkommenen Instrumente, ähnlich wie bei der directen Beobachtung, noch gesteigert wird. Sieht man z. B. durch eine kleine Oeffnung von c. 1 m.m. Durchmesser auf eine gedruckte Blattseite oder deren Bild, so erscheint die Schrift entschieden deutlicher, die Lettern schwärzer und schärfer contourirt. Ebenso ist es denkbar, dass die chromatische Abweichung des Auges, welche bekanntlich einen sehr merklichen Grad erreicht und dadurch vorzugsweise die Erscheinungen der »eigentlichen ächten« Irradiation hervorruft**), durch ein schwach überverbessertes Mikroskop beseitigt wird, so dass auch von dieser Seite eine Verstärkung des Wahrnehmungsvermögens mög-

*) Vgl. hierüber Fick, Medizin. Physik S. 310 und die Abhandlung von Volkmann über das »Sehen« in R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie.

**) Vgl. hierüber Fick l. c. pag. 321.

lich ist. Jedenfalls findet diese Erklärung auf das Objectiv 4 von Bénèche Anwendung, welches, obgleich deutlich überverbessert, im ganzen mittleren Theil des Gesichtsfeldes die entgegengesetzte chromatische Abweichung des Auges nicht einmal zu compensiren vermag. Wir werden weiterhin auf die Prüfung solcher Erscheinungen näher eintreten; hier wollten wir bloss die einfache Thatsache erwähnen, um die Richtigkeit der gegebenen Erklärung wenigstens für einen bestimmten Fall ausser Zweifel zu setzen.

Die graphische Darstellung zeigt zweitens, dass das relative optische Vermögen der Mikroskope gegen die stärkeren und stärksten Vergrösserungen zu beträchtlich abnimmt, indem die entsprechenden Curven sich nach der rechten Seite zu ziemlich rasch der Abscissenaxe nähern und zuletzt sogar in den günstigsten Fällen ungefähr auf halbe Höhe heruntersinken. Wir dürfen hieraus den Schluss ziehen, dass die praktische Optik noch lange nicht an der Grenze des Erreichbaren angekommen ist, und ohne uns durch die öfter ausgesprochene Ansicht, es sei wenig Hoffnung vorhanden, das Mikroskop auf eine höhere Stufe der Vollkommenheit zu bringen, beirren zu lassen, noch wesentliche Verbesserungen für die Zukunft in Aussicht stellen. 115

Für die mittleren Vergrösserungen zwischen 300—400 Mal sind die Leistungen der angeführten Optiker, wie man sieht, nahezu dieselben, während bei den schwächeren Objectiven nicht unerhebliche Differenzen hervortreten. Diese letzteren dürften jedoch in den meisten Fällen nicht sowohl im Können, als vielmehr im Wollen ihre Erklärung finden, weil der Grad der Vollkommenheit bei schwächeren Systemen, die man meistens nur der grösseren Uebersicht wegen benutzt, weniger ins Gewicht fällt, und folglich das Aufbieten aller Kräfte nicht so lohnend erscheint. Zu gering darf man indessen die Vorzüge eines guten Objectivs auch bei den schwächsten Vergrösserungen nicht anschlagen; man wird sie im Gegentheil bei allen Untersuchungen, wo Schärfe der Bilder und grosse Uebersicht vereinigt sein sollen, wie z. B. bei Gefässbündeluntersuchungen, immer in hohem Grade schätzen lernen.

Die Prüfung der Mikroskope vermittelst dioptrischer Bilder, die 116 man allmählich bis zur Grenze der Unterscheidbarkeit verkleinert, gestattet natürlich mancherlei Modificationen. Man kann statt eines Drahtnetzes beliebige andere Gegenstände, kugelförmige, fadenförmige, quadratische etc. zur Beobachtung wählen und dabei nicht bloss die Unterscheidbarkeit, sondern auch die Erkennbarkeit der Form, z. B. der Ecken eines Quadrats oder Sechsecks, als Maassstab

zur Vergleichung benutzen. Auch zwei oder mehrere punctförmige Oeffnungen in einem dunkeln Schirm liefern ein ganz brauchbares Probeobject, indem die Entfernung von der Luftblase so gewählt werden kann, dass die einzelnen Puncte im Bilde eben noch getrennt gesehen werden. Selbstverständlich sind jedoch die auf diese oder jene Art erhaltenen Resultate nur unter sich, nicht aber mit den auf einem anderen Wege gefundenen Ziffern vergleichbar. Für die Erkennbarkeit der Form eines einzelnen Quadrats wird man z. B. bei einer bestimmten Vergrösserung ganz andere Grenzwerthe erhalten, als für die Unterscheidbarkeit der quadratischen Maschen eines Drahtgeflechts, und dieselben Differenzen zwischen den absoluten Grössen treten auch bei der Beobachtung mit blossem Auge hervor. Dagegen ist es nicht wohl denkbar, dass die relativen Grössenverhältnisse, wie sie im Verlauf der Curven sich darstellen, wesentlich anders ausfallen, und jedenfalls unrichtig, dass die Resultate der Prüfung bei Anwendung von Drahtgeflechten der »penetrirenden Kraft«, und bei kugel- und fadenförmigen Objecten der »definirenden Kraft« proportional sind*). Denn in allen Fällen, wo das von einer Luftblase entworfene Bild als Probeobject dient, füllen die zum Objectiv gelangenden Lichtkegel die Oeffnung desselben vollständig aus und werden daher von den Unvollkommenheiten der brechenden Flächen in gleicher Weise beeinflusst.

Wir haben mehrere dieser Modificationen in Anwendung gebracht, jedoch immer gefunden, dass keine einzige derselben die nämliche Sicherheit der Beurtheilung gestattet, wie die zuerst erwähnte. Namentlich ist die Grenze der Erkennbarkeit bei kugelförmigen und fadenförmigen Objecten keineswegs leicht festzustellen und wird daher von verschiedenen Beobachtern auch in ziemlich abweichender Weise bestimmt. Dazu kommt, dass man zuletzt nicht mehr das scharfe Bild des Gegenstandes, sondern das von Zerstreuungskreisen gebildete verwischte Bild desselben beobachtet, welches wegen seiner grösseren Ausdehnung etwas länger wahrnehmbar bleibt. Es geht diess schon aus der Thatsache, dass die berechnete Grösse der Netzhautbildchen bei fadenförmigen Objecten oft entschieden kleiner ausfällt, als der Durchmesser der empfindenden Elemente**), un-

---

*) Diese Ansicht sucht Harting l. c. pag. 307 plausibel zu machen, indem er sie als eine sich selbst aufdrängende Folgerung der von ihm mitgetheilten Beobachtungsreihen hinstellt.

**) Nach den neuesten Untersuchungen der Netzhaut besteht die Stäb-

zweifelhaft hervor; denn es lässt sich nicht annehmen, dass diese letzteren qualitativ verschiedene Reize als solche zum Bewusstsein bringen. In letzter Instanz hängt demnach die Sichtbarkeit einer dunkeln Linie auf hellem Grunde vorzugsweise davon ab, ob das beobachtende Auge einen schwachen Lichtausfall, welcher sich nur über einen Theil der einzelnen Netzhautelemente erstreckt, noch wahrzunehmen vermag. Die vermeintliche Prüfung des Mikroskops läuft also wesentlich auf eine Prüfung des Auges hinaus.

Unter diesen Verhältnissen verzichten wir auf die Zusammenstellung unserer Messungen und verweisen Diejenigen, welche sich aus diesem oder jenem Grunde für solche Beobachtungen interessiren, auf das ausführliche Werk von Harting.

Organische Probeobjecte.

Unter den organischen Körpern, deren feinere Structurverhält- 117
nisse ein gutes Mikroskop erst bei einer gewissen Vergrösserung zur Wahrnehmung bringt, bieten namentlich die kleinen Schüppchen, welche auf der Haut vieler Insecten, insbesondere auf Schmetterlingsflügeln vorkommen, sowie ferner die Kieselschalen der Diatomeen die verschiedensten Abstufungen. Erstere wurden denn auch lange Zeit fast ausschliesslich als Probeobjecte benutzt und einige derselben finden auch jetzt noch vielfach Anwendung; die letzteren, zuerst in England in Vorschlag gebracht und zur Prüfung starker Objective besonders geeignet, kamen in neuester Zeit so allgemein in Gebrauch, dass sie jetzt wohl die gewöhnlichste Zugabe der Optiker bilden. Obschon wir nun freilich aus den oben angeführten Gründen die mit diesen Probeobjecten erhaltenen Resultate der Prüfung nicht für streng maassgebend betrachten, so lässt sich doch nicht in Abrede stellen, dass sie uns ein leicht anwendbares Mittel an die Hand geben, die Leistungsfähigkeit eines Mikroskops approximativ zu beurtheilen. Die

---

chenschicht, welche als das eigentlich lichtpercipirende Organ betrachtet wird, im gelben Flecke (der am besten sehenden Stelle) bloss aus sogenannten Zapfen, deren Durchmesser c. 5 Mik. beträgt. Diese Grösse entspricht, wenn der Abstand des Knotenpunctes von der Netzhaut zu 15 m.m. angenommen wird, einem Sehwinkel von ungefähr 68″ und bei einer Objectdistanz von 25 Cent. einem Durchmesser von 83 Mik. Nun sind aber nach Harting (Mikr. pag. 298) fadenförmige Objecte bei 50maliger Vergrösserung noch mikroskopisch wahrnehmbar, wenn ihre wirkliche Dicke = 0,194 Mik. und folglich der Durchmesser des mikroskopischen Bildes = 50×0,194 = 9,7 Mik. beträgt. Das entsprechende Netzhautbildchen würde also nicht einmal den 8ten Theil eines Netzhautelementes einnehmen.

Kenntniss der gebräuchlichsten Probeobjecte ist daher immerhin von praktischem Werth, und es ist jedem Mikroskopiker anzuempfehlen, sich die Schärfe und Klarheit der Bilder zu merken, welche dieselben in einem guten Instrumente bei einer bestimmten Vergrösserung hervorrufen. Wir wollen daher eine gedrängte Aufzählung der Schmetterlingsschuppen und Diatomeenpanzer, welche in neuester Zeit als besonders geeignet zu Testobjecten vorzugsweise benutzt werden, hier folgen lassen und, wo es nöthig erscheint, eine kurze Beschreibung derselben hinzufügen.

118 Was zunächst die Schmetterlingsschuppen betrifft, so zeigen dieselben gewöhnlich deutliche Längsstreifen, welche unter sich parallel oder etwas divergirend von der Basis des Schüppchens nach seinem oberen Rande verlaufen, und weniger deutliche Querstreifen, welche rechtwinklig zu jenen stehen und bei etwas tieferer Einstellung zum Vorschein kommen. Diese Streifensysteme sollen bei den nachstehend bezeichneten Vergrösserungen deutlich hervortreten.

1. *Lepisma saccharinum.* Längsstreifen der grösseren Schüppchen schon bei 40maliger, der kleineren bei 100—150maliger Vergr. deutlich. Die grösseren Schüppchen sind keilförmig, die kleineren mehr rundlich, mit blasseren, dichter gestellten Streifen.

2. *Hipparchia Janira.* a) Schuppen von den Flügeln des Weibchens. Längsstreifen nach Schacht schon bei 80facher, Querstreifen bei schiefer Beleuchtung mit den Objectiven 5—7 von Hartnack, 7 von Bénèche, C von Zeiss, also bei c. 200—300maliger Vergrösserung sichtbar. Durch stärkere Objective sollen die Querstreifen auch bei geradem Licht deutlich als scharfe Linien (nicht körnig oder unterbrochen) gesehen werden. Die langen und hellen Schuppen sind, wie immer, schwieriger als die dunkler gefärbten. b) Schuppen von der Oberseite der Flügel des Männchens. Längsstreifen nach Mohl nur mit den stärksten Amici'schen Objectiven und schiefer Beleuchtung sichtbar; von Querstreifen, die ohne Zweifel auch vorhanden sind, keine Spur.

3. *Podura plumbea.* Schuppen mit längsverlaufenden kurzen Streifen, die schon bei schwächerer Vergrösserung deutlich hervortreten, übrigens in Bezug auf Grösse sehr von einander differiren. Querlinien nach Harting fehlend, nach Schacht*) dagegen, welcher eine Abbildung der Schuppen giebt, schon mit den gewöhnlichen Objectiven bei schiefer Spiegelstellung sichtbar.

*) H. Schacht, Das Mikroskop (1862) pag. 32.

4. *Lycaena Argus.* Schuppen von der Oberfläche der Vorderflügel: a) Solche, die bei auffallendem Lichte blau, bei durchfallendem hellgelb erscheinen. Längsstreifen schon bei schwächerer Vergr. (60—80 Mal), Querlinien erst bei 300—400 maliger Vergr. sichtbar. Wegen der grossen Gleichförmigkeit der Schuppen besonderer Beachtung werth. b) Solche, welche bei auffallendem Lichte hellbraun, im durchgehenden grau und dunkel erscheinen. Längsstreifen wie bei den vorigen; Querstreifen, obgleich enger gezogen, etwas weniger schwierig, jedoch nicht unter einer 300 maligen Vergrösserung wahrnehmbar. c) Schüppchen von ovaler Form, welche im auf- und durchfallenden Lichte eine gelbliche Färbung zeigen. Mit Reihen von dunkeln Puncten, die c. $2\frac{1}{2}$—3 Mik. von einander abstehen und daher schon mit mässigen Vergrösserungen scharf begrenzt gesehen werden sollen.

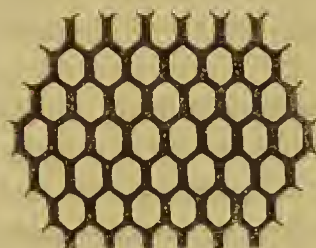
Weit mannigfaltiger, als bei den Schmetterlingsschuppen, ist die 119
Zeichnung der Diatomeenpanzer. Als Prüfungsobjecte werden indess meistens solche benutzt, welche zwei oder drei Liniensysteme erkennen lassen, die sich im ersten Fall unter einem rechten, im letzteren unter schiefen Winkeln schneiden. Ob diese Liniensysteme von hervorragenden Leisten, oder von kleinen Erhabenheiten oder Vertiefungen, welche reihenförmig gestellt sind, oder endlich von Dichtigkeitsverschiedenheiten herrühren, ist in den meisten Fällen unentschieden, indem die verschiedenen Ansichten, welche man hie und da, und zuweilen mit grosser Zuversicht, darüber ausgesprochen findet, der näheren Begründung entbehren. Wir lassen daher diese Frage unerörtert und beschränken uns einfach auf die Charakteristik des mikroskopischen Bildes, das bei der Prüfung ja ohnehin einzig und allein in Betracht kommt.



Figur 75.

5. *Pleurosigma angulatum.* (Fig. 75.) Zwei gleich starke und gegen die Mittellinie gleich geneigte Streifensysteme schneiden sich unter Winkeln von c. 53° (nicht wie gewöhnlich angegeben wird, unter 60°); ein drittes, etwas weniger deutliches System steht rechtwinklig auf der Mittellinie und bildet mit den beiden schiefen Systemen Winkel von ungefähr $63\frac{1}{2}$°. Jedes dieser Liniensysteme soll bei schiefer Beleuchtung, wenn das Licht im rechten Winkel gegen dasselbe einfällt, schon durch mittelstarke Objective, wie Nr. 7 von Hartnack,

Nr. 9 von Bénèche, also bei c. 300—350 maliger Vergrösserung *), für sich allein deutlich gesehen werden, so dass beim Drehen des Objectes alle drei Systeme nach einander zum Vorschein kommen. Die stärkeren Objective, welche eine Vergrösserung von 500—600 Mal geben, lassen die drei Liniensysteme schon im geraden Licht gleichzeitig hervortreten und lösen dieselben bei schiefer Beleuchtung in helle Puncte auf, welche sich nach den drei genannten Richtungen in Reihen ordnen. Mit den besten Objectiven endlich und der günstigsten Ocularvergrösserung ist es möglich, diese hellen Puncte als nicht ganz regelmässige Sechsecke zu erkennen, deren zwei längste Seiten mit der Mittellinie parallel laufen (Fig. 76). Wir machen auf diese Lage der Sechsecke besonders aufmerksam, weil dieselbe von Schacht **) und Anderen in wesentlich abweichender Weise beschrieben und abgebildet wird, dazu mit einer Regelmässigkeit, welche überhaupt in der Natur nicht vorkommt. Unsere Darstellung, die übrigens mit bereits bekannten übereinstimmt, stützt sich auf Beobachtungen mit einer vortrefflichen Immersionslinse von Hartnack, combinirt mit den stärksten Ocularen von Bénèche, und darf in allen wesentlichen Puncten — also abgesehen von der genauen Form der Sechsecke, der Schärfe der Ecken u. dgl. — als vollkommen richtig und naturgetreu betrachtet werden. Die dunkeln Linien, welche bei schwächerer Vergrösserung vollkommen geradlinig erscheinen, sind also in Wirklichkeit Zickzacklinien, und zwar bestehen die beiden schiefen Systeme, wie obige Figur zeigt, aus abwechselnd längs und schief verlaufenden Elementen, während die Querlinien nur von diesen letzteren gebildet werden. Da nun die längsverlaufenden Elemente durchweg stärker sind, als die schiefen, so erklärt sich hieraus die grössere Deutlichkeit der schiefen Streifensysteme. Dagegen widerstreitet dieses Verhalten der von Schacht vertheidigten Ansicht, dass die Streifensysteme, weil sie gewöhnlich bei verschiedener Einstellung am deutlichsten gesehen werden, verschiedenen Schichten entsprechen. Die scheinbare Niveauverschiedenheit beruht auch in der That nur auf einem optischen Effect, wel-



Figur 76.

*) Diese Vergrösserungsziffern setzen eine Ocularvergrösserung von c. 4½—5 Mal voraus, z. B. Ocular Nr. 2 von Bénèche und Nr. 3 von Hartnack.

**) Schacht, Das Mikr. p. 28 u. Taf. I Fig. 9 u. 10.

cher in der ungleichen Stellung der schief gestellten Streifenelemente gegen das einfallende Licht seine Erklärung findet*). Daher rührt es, dass ein und dasselbe System bei einer gewissen Stellung der Mittelrippe entschieden höher, nach einer Drehung von ungefähr 90° dagegen ebenso entschieden tiefer zu liegen scheint.

Dieses ausgezeichnete Probeobject kann, wie auch alle folgenden, durch Bourgogne in Paris bezogen werden. Die Exemplare liegen gewöhnlich in Balsam und zwar in so grosser Zahl, dass man nicht erst lange zu suchen braucht, um ein zur Beobachtung taugliches zu finden. Die grösseren zeigen, wie sich erwarten lässt, eine etwas deutlichere Zeichnung als die kleineren. Man darf indess vollkommen zufrieden sein, wenn das Mikroskop die Prüfung mit den grössten und schönsten Exemplaren in der angedeuteten Weise besteht.

6. *Pleurosigma attenuatum.* Mit stärkeren Längsstreifen, welche parallel der Mittelrippe verlaufen, und rechtwinklig darauf stehenden zarten Querlinien. Längsstreifen im geraden Licht schon bei 150—200 maliger Vergrösserung deutlich, so z. B. mit Objectiv Nr. 7 und Ocular Nr. 1 von Bénèche; Querstreifen bei c. 300maliger Vergrösserung im geraden Licht angedeutet und stellenweis deutlich, bei schiefer Beleuchtung durchgehends sehr scharf, so z. B. mit Objectiv Nr. 9 von Bénèche und Nr. 7 von Hartnack. Mit stärkeren Objectiven lösen sich die hellen Linien, wie immer bei ähnlichen Zeichnungen, sehr deutlich in kleine Quadrate oder eigentlich Rechtecke auf, deren Ecken mehr oder weniger abgestumpft sind, so dass die dunkeln Scheidelinien hier knotig verdickt erscheinen.

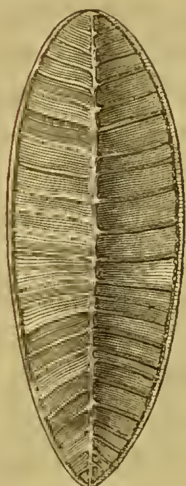
7. *Pleurosigma balticum.* Mit Längsstreifen und etwas zarteren Querstreifen; erstere schon bei 200 maliger Vergrösserung im schiefen Lichte sichtbar, letztere unter 300maliger Vergrösserung kaum deutlich. Nr. 7 von Bénèche zeigt die Längslinien nur mit den stärkeren Ocularen entschieden und deutet die Querlinien am Rande an; mit Nr. 9 dagegen und Nr. 7 von Hartnack lassen sich beide Systeme in aller Schärfe erkennen.

8. *Grammatophora marina.* Randpartieen mit Querstreifen und zwei weniger deutlichen schiefen Streifensystemen, ähnlich wie bei Pleurosigma angulatum. Alle drei Streifensysteme lassen sich durch das Objectiv Nr. 9 von Bénèche erkennen, und zwar die Querstreifen

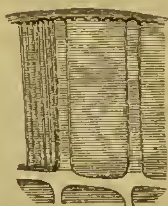
*) Da nämlich die stärkeren, längs gestellten Elemente den beiden schiefen Streifensystemen angehören und daher in jeder beliebigen Lage gegen das einfallende Licht für beide in gleicher Weise wirken, so kann die Verschiedenheit des Effectes nur von den schief gestellten Elementen herrühren.

schon mit den gewöhnlich benutzten Ocularen Nr. 1 und 2, die schiefen dagegen ganz deutlich erst mit den stärkeren Ocularen. Ziemlich dasselbe gilt auch für das Objectiv Nr. 7 von Hartnack. Man darf demnach jedenfalls verlangen, dass ein Mikroskop mit 340—400 maliger Vergrösserung die drei Streifensysteme zur Wahrnehmung bringe.

9. *Surirella Gemma.* (Fig. 77.) Zwischen den starken, in unregelmässigen Entfernungen auftretenden Querleisten zu beiden Seiten der Mittelrippe und parallel mit denselben verlaufen zartere Querstreifen, welche selbst wieder von äusserst feinen Längslinien (Fig. 78) rechtwinklig geschnitten werden. Diese letzteren werden nur durch die allerstärksten Objective, wie Nr. 9 und 10 von Hartnack, deutlich gesehen; die erstern erfordern dagegen bloss eine etwa 400—500 malige Vergrösserung.



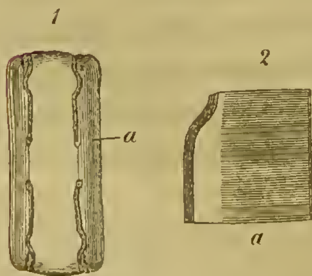
Figur 77.



Figur 78.

10. *Nitzschia sigmoidea* (Sigmatella Nitzschii). Der lange und schmale Panzer zeigt zarte, dicht gestellte Querlinien, welche nach Schacht selbst durch die Wasserlinse von Hartnack (Nr. 10) erst bei schiefem Lichte gelöst werden, übrigens bei derselben Beleuchtung auch mit den stärksten Objectiven von Bénèche und Zeiss sichtbar sind. Diese Angaben Schacht's beziehen sich auf trocken aufbewahrte Exemplare, welche bekanntlich weniger schwierig sind, als die in Balsam liegenden.

11. *Grammatophora subtilissima.* (Fig. 79, 1.) Randpartie *a* mit äusserst zarten und dichtgestellten Querstreifen (Fig. 79, 2), welche (wenn das Präparat in Canadabalsam liegt) nur durch die allerstärksten Objective aufgelöst werden. Mit dem Immersionssystem Nr. 9 von Hartnack vermochten wir kaum eine Andeutung dieser Streifung zu sehen.



Figur 79.

12. *Navicula affinis.* Mit Längs- und Querstreifen, erstere deutlicher und

nicht sehr schwierig, letztere äusserst scharf und fein. Wurde auf der letzten Londoner Industrieausstellung (in Canadabalsam liegend) als Testobject benutzt.

Ausser den vorstehend aufgeführten Probeobjecten wurden in 120
neuester Zeit noch manche andere, die ebenso geeignet sein mögen, in Vorschlag gebracht und finden gewiss auch hie und da Anwendung, so z. B. verschiedene Arten von Navicula, Coscinodiscus, Frustulia saxonica, Hyalodiscus subtilis u. a. mehr, worunter manche eine so feine Streifung zeigen sollen, dass 4—5 Linien auf einen Mikromillimeter kommen. Wir halten indess unsere Aufzählung für vollkommen genügend und sind nicht geneigt, der Entdeckung neuer Probeobjecte bei dem gegenwärtigen Standpunct der praktischen Optik eine besondere Wichtigkeit beizulegen. Wir möchten sogar jedem Mikroskopiker den Rath geben, eine Auswahl von höchstens 3 oder 4 zu treffen und sich dafür um so genauer zu merken, wie sich dieselben unter verschiedenen Mikroskopen darstellen. Diess wird ihm bei der Prüfung eines unbekannten Instrumentes stets besser zu Statten kommen, als die einfache Thatsache, ob dasselbe ein bestimmtes Prüfungsobject löst oder nicht.

Wir wollen auch nicht unerwähnt lassen, dass in Ermangelung eigentlicher Probeobjecte zarte Durchschnitte durch Tannenholz oder andere dickwandige Gewebe zur Prüfung benutzt werden können. Hier muss das Netzwerk, welches die Scheidelinien der sich berührenden Zellen oder die peripherischen Schichten an einander stossender Membranen unter sich bilden, sowie ferner der Umriss der Hohlräume, bei 200–400maliger Vergrösserung zart und scharf gezeichnet erscheinen. Dicke, verschwommene Umrisse oder Farbensäume, welche dem Object nicht angehören, deuten immer auf eine mangelhafte Verbesserung der sphärischen oder chromatischen Aberration. Auch Querschnitte durch geschichtete Bastzellen mit Porencanälen, Pollenkörner, Stärkekörner, Parenchymzellen mit Siebporen u. s. w. können über die Güte eines Mikroskops im Allgemeinen Aufschluss geben; ja es giebt überhaupt wenig Objecte in der organischen Natur, welche — wenn man sie genau kennt — nicht die erforderlichen Anhaltspuncte zur Beurtheilung des mikroskopischen Bildes böten. Nur ist es natürlich mit solchen Mitteln nicht möglich, das optische Vermögen des Mikroskops in Zahlen auszudrücken.

Nobert's Probetäfelchen.

121 Mit der Anwendung organischer Probeobjecte ist stets der Nachtheil verbunden, dass die Resultate, welche der Beobachter erhält, mit denen eines andern Beobachters nie vollkommen vergleichbar sind, weil die gleichnamigen Objecte in Grösse und Deutlichkeit zu sehr von einander differiren. Um diesem Uebelstand abzuhelfen, kam Nobert auf den glücklichen Gedanken, ein künstliches Prüfungsobject in Form einer mikrometrischen Theilung auf Glas herzustellen. Er verfertigte schon 1846 Probetäfelchen mit 10 Liniengruppen, wobei die Abstände der einzelnen Linien in der ersten Gruppe am grössten, in jeder folgenden etwas kleiner und in der letzten am kleinsten waren. In der Folge vermehrte er die Zahl der Gruppen auf 12, 15, 20 und neuerdings sogar auf 30, veränderte aber zugleich die Abstände in den vorhergehenden Nummern, so dass die mit älteren Probetäfelchen erhaltenen Resultate mit den an neueren angestellten Beobachtungen nicht vergleichbar sind. Die Abstände der Linien auf den neueren Probetäfelchen und zugleich die Zahl derselben auf 1 m.m. sind in der folgenden Tabelle nach Warren de la Rue (s. Harting, das Mikr. p. 883) zusammengestellt.

Gruppe.	Abstand in Mik.	Linien auf 1 m.m.	Gruppe.	Abstand in Mik.	Linien in 1 m.m.
1	2,256	443	10	0,620	1612
2	1,945	514	11	0,591	1692
3	1,647	607	12	0,565	1772
4	1,399	715	13	0,533	1875
5	1,240	806	14	0,508	1969
6	1,082	924	15	0,451	2216
7	0,902	1108	20	0,377	2653
8	0,789	1267	25	0,323	3098
9	0,676	1478	30	0,282	3544

Wie man aus dieser Tabelle ersieht, stehen die Nobert'schen Probeblättchen an Feinheit der Theilung nur wenig hinter den schwierigsten organischen Objecten zurück. Sie stimmen auch in sofern mit denselben überein, als Licht und Schatten im Bilde hier ebenfalls durch Brechung der Strahlen in einer farblosen Substanz, nicht durch dunkle und helle Stellen im Object bedingt wird. Wir lassen es übrigens, da wir dieselben aus eigener Beobachtung nicht näher kennen,

dahingestellt, ob sie wirklich einen zuverlässigeren Maassstab zur Prüfung bieten, als die Kieselpanzer der Diatomeen oder die von Amici und Mohl empfohlenen Schmetterlingsschuppen. Dass indess eine vollständige Uebereinstimmung der gleichnamigen Liniensysteme, insbesondere mit Rücksicht auf die Stärke der Striche, mit keiner Maschine erreicht werden kann, lässt sich schon a priori mit Gewissheit behaupten.

Wir bemerken noch, dass Nobert die Probetäfelchen mit 10 Gruppen zu 5 Thaler, solche mit 15 Gruppen zu 10 Thaler, endlich solche mit 30 Gruppen zu 30 Thaler berechnet.

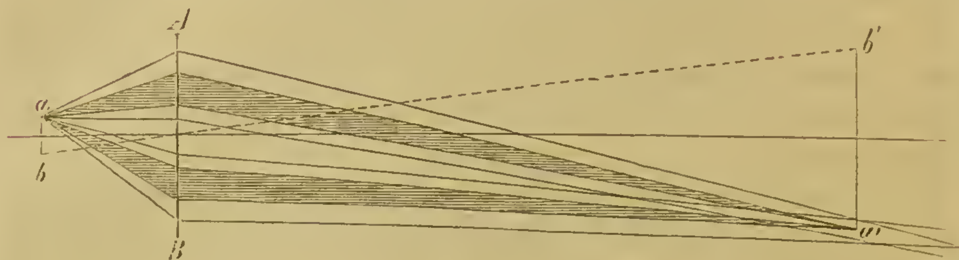
II.

Prüfung der sphärischen Aberration.

Wir stellen uns jetzt, nachdem wir die Methoden erörtert, welche 122
das optische Vermögen des Mikroskops im Allgemeinen zu prüfen gestatten, die weitere Aufgabe, die verschiedenen Momente oder Factoren zu untersuchen, welche jenes Vermögen bedingen. Unter diesen Factoren nimmt erfahrungsgemäss die sphärische Aberration die erste Stelle ein; sie festzustellen und die jedesmalige Wirkung der angewendeten Linsencombination genau zu ermitteln, ist daher namentlich für den Optiker, wenn er nicht im Finstern herumtappen will, eines der wichtigsten Probleme.

Es handelt sich dabei in der Praxis zunächst um die Frage, wie das Vorhandensein der sphärischen Aberration sich im mikroskopischen Bilde kundgebe, und in zweiter Linie um die Entscheidung, ob dieselbe auf eine Unterverbesserung oder Ueberverbesserung des Objectivs hindeute. Damit ist freilich die Aufgabe, wie man leicht einsieht, noch keineswegs in ihrem ganzen Umfange gelöst; denn es liesse sich ja denken und kommt auch in der That häufig genug vor, dass das Objectiv für die mittleren Strahlen, beispielsweise bis zu einer Neigung von 10—15^0, unterverbessert, für die Randstrahlen dagegen überverbessert wäre. Da jedoch der Praktiker nur auf den vorwiegenden Effect sieht, so betrachtet er ein Linsensystem als möglichst aplanatisch, wenn entweder der grössere centrale Theil, oder der grössere peripherische Theil des einfallenden Strahlenkegels keine merklichen Aberrationen zeigt. Er sieht also im einen Falle, um die herkömmliche Ausdrucksweise der Mikrographen zu gebrauchen, mehr auf die definirende, im andern mehr auf die penetrirende Kraft.

123 Die Wirkung der sphärischen Aberration im Allgemeinen läss sich leicht durch die Construction veranschaulichen. Ist $a b$ (Fig. 80)



Figur 80.

ein selbstleuchtendes Object, dessen Strahlenkegel die Oeffnung des Objectivs AB ganz ausfüllen, und nehmen wir an, die von a und b ausgehenden Lichtstrahlen vereinigen sich nach der Brechung zum grösseren Theil (in der Figur ist diess für die Strahlen mittlerer Neigung angenommen) in den Puncten a' und b', während die übrigen nach etwas näher oder entfernter liegenden, übrigens mehr oder weniger von einander abstehenden Puncten convergiren, wie es in der Figur für ein mittleres und ein peripherisches Strahlenpaar angedeutet ist. Alsdann kommt in a' das reelle Bild des Punctes a zu Stande, ebenso in b' das Bild von b und folglich in den zwischenliegenden Puncten die Bilder der entsprechenden des Objects. Eine durch die Puncte a' und b' gelegte bildauffangende Ebene würde aber, wie die Construction zeigt, ausserhalb dieser Puncte noch von Strahlen getroffen, deren Kreuzungspuncte nach unserer Annahme vor oder hinter diese Ebene fallen. Und zwar rühren diese Strahlen nicht bloss von den äussersten Randpuncten des Objects a und b her, sondern auch von den benachbarten bis zu einer gewissen Entfernung vom Rande, von wo an auch die aberrirenden Strahlen die Projectionsfläche des Bildes treffen. Das beobachtende Auge muss also, wenn es das vom Objectiv entworfene Bild durch das Ocular (in welchem die Ebene der Blendung den bildauffangenden Schirm darstellt) beobachtet, ausserhalb der Ränder a' und b' der leuchtenden Bildfläche noch einen Lichtschimmer wahrnehmen, welcher von den mit Aberration behafteten Strahlen herrührt.

Die Prüfung der Aberrationsverbesserung kann also einfach dadurch geschehen, dass man eine kleine leuchtende Fläche oder ein reelles oder virtuelles Bild, das sich wie eine solche Fläche verhält, als Object unter das Mikroskop bringt und dafür Sorge trägt, dass von der Umgebung kein Licht ins Auge gelangt. Je schwächer als-

dann der Lichtschimmer, welcher das mikroskopische Bild umgiebt, um so vollständiger ist die Aberrationsverbesserung.

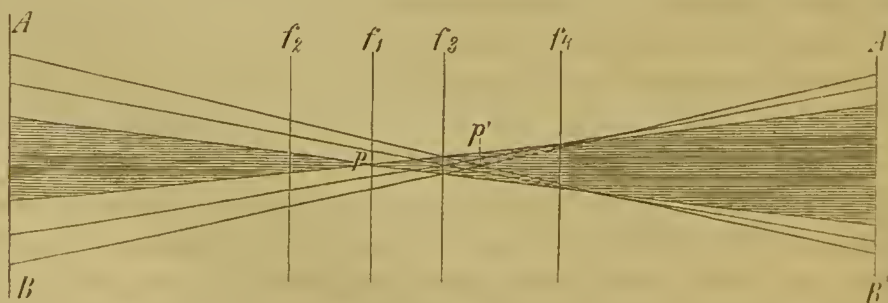
Die Herstellung eines geeigneten Objectes betreffend, kennen wir kein besseres Mittel als das, welches im Princip schon Mohl und später auch Harting in Anwendung gebracht hat. Man bedeckt eine Glasplatte durch wiederholtes Auftragen mit dem Pinsel mit einer hinreichend dicken, vollkommen undurchsichtigen Schicht von chinesischer Tusche, in welche man hierauf mit einer feinen Nadel oder einem Messer feine Puncte oder Linien, welche das Licht durchlassen, einschneidet. Man kann auch einfach die Platte längere Zeit liegen lassen; es bilden sich dann in Folge der Zusammenziehung der Tuscheschicht eine Unzahl von kleinen, scharf berandeten Oeffnungen in derselben, welche noch besser als die künstlichen zur Prüfung geeignet sind. 124

Bei dem Gebrauche muss natürlich die Bedingung erfüllt werden, welcher überhaupt jedes Probeobject genügen soll, dass nämlich die Strahlenkegel, welche von den leuchtenden Puncten ausgehen, die ganze Oeffnung des Objectivs ausfüllen (was Mohl und Harting, wie es scheint, nicht berücksichtigt haben). Zu diesem Ende muss bei schwächeren Objectiven die Blendung entfernt oder hinreichend gross gewählt und der Spiegel genähert, bei stärkeren aber eine Beleuchtungslinse oder ein geeignetes Objectivsystem eingeschaltet werden, um die Convergenz der einfallenden Strahlen in entsprechendem Grade zu verstärken. Hat das zu prüfende Objectivsystem beispielsweise eine Oeffnung von 60^0, so muss dem auf die Glasplatte einfallenden Beleuchtungskegel eine mindestens eben so grosse Oeffnung gegeben werden.

Die übrigen Objecte, welche von den Mikrographen empfohlen worden sind, wie z. B. die von einer Luftblase oder einem Quecksilbertropfen (auf dunkler Unterlage) entworfenen Bildchen der Fensterrahmen, sind unseres Erachtens nicht so geeignet, um den Grad der Aberrationsverbesserung darnach zu bemessen, als die erwähnten wirklichen Oeffnungen in einem sonst schwarzen Gesichtsfelde. Letztere gewähren nämlich den wesentlichen Vortheil, dass ein Zurückziehen der Blendung oder des Beleuchtungsapparates die Randzone des Objectivs ausser Wirkung bringt und folglich den Beobachter in den Stand setzt, die Prüfung successive auf einen immer kleineren centralen Theil der brechenden Flächen zu beschränken. Man macht öfter die Wahrnehmung, dass der starke Lichtschimmer, welcher das mikroskopische Bild umsäumt, sogleich verschwindet, sobald die

äussersten Randstrahlen abgeschnitten werden, während er in anderen Fällen nur unmerklich abnimmt und daher vorzugsweise von den mittleren Strahlen herrührt. Solche Verschiedenheiten festzustellen, ist natürlich mit eine Aufgabe der Prüfung; sie kann aber mittelst Quecksilbertropfen und Luftblasen nur dadurch gelöst werden, dass man die entsprechenden Blendungen am Objectiv anbringt. Dazu kommt, dass weder die Fensterrahmen noch die Umgebungen des Fensters hinreichend dunkel sind, um in einem katoptrischen oder dioptrischen Bilde einen schwarzen Hintergrund zu bilden, woraus dann folgt, dass das Vorhandensein eines schwachen Lichtnebels sich weniger leicht erkennen lässt. Mit Rücksicht hierauf würden wir eine grosse kugelförmige Luftblase, welche das Bild einer kleinen, dazu noch zurückgezogenen Blendungsöffnung entwirft, einem Quecksilbertropfen noch vorziehen, weil wenigstens die Umgebung des Bildchens bis zum inneren hellen Ring vollkommen schwarz erscheint. Der Lichtschimmer, den ein solches Bildchen hervorruft, fällt aber immer etwas schwächer aus, als bei einer wirklichen Oeffnung, weil die Randstrahlen durch theilweise Reflexion an der Oberfläche der Luftblase beträchtlich geschwächt werden.

125 Die Beantwortung der weiteren Frage, ob ein mit Aberration behaftetes Objectiv unter- oder überverbessert sei, stützt sich auf die Erscheinungen, welche eine höhere oder tiefere Einstellung des Oculareinsatzes oder, was im Wesentlichen auf dasselbe herauskommt, die Vergrösserung oder Verkleinerung der Objectdistanz hervorruft. Denken wir uns vorerst den einfachen Fall, dass die vorkommenden Abweichungen sämmtlich in demselben Sinne stattfinden, so zwar, dass die Brechung im Objectiv vom Centrum nach der Peripherie, wenn sie überhaupt eine Veränderung erleidet, continuirlich zu- oder abnimmt, so lassen sich die Wirkungen einer veränderten Einstellung leicht überblicken. Ist wieder AB (Fig. 81) das Objectiv, p der Vereinigungspunct oder der kleine Vereinigungsraum aller mittleren



Figur 81.

Strahlen bis zu einer gewissen Neigung und pp' die grösste Längenabweichung der Randstrahlen, für welche also das Objectiv überverbessert ist; so wird das reelle Bild auf einem auffangenden Schirm sich offenbar dann am schärfsten darstellen, wenn derselbe mit einer durch den Punct p gelegten Ebene $f_1 f_1$ zusammenfällt; es erscheint aber umsäumt von einem Lichtnebel, der von den in der Umgebung auffallenden Randstrahlen herrührt. Wird jetzt der Schirm weiter nach links in die Lage f_2 gebracht, so schneidet er sowohl den bilderzeugenden centralen Kegel, als die aberrirenden peripherischen Strahlen in einer grösseren Fläche; das Bild muss sich folglich verwischen, während der Lichtnebel an Umfang und Breite zunimmt. Findet dagegen die Verschiebung in der entgegengesetzten Richtung statt, so wird der Querschnitt durch die gesammte Strahlenmasse zunächst kleiner und erreicht in f_3, wo die peripherischen Strahlen sich mit den bilderzeugenden kreuzen und folglich der Lichtnebel verschwindet, sein Minimum. Der Schirm wird also in f_3 durch einen kleinen, scharf begrenzten Lichtkreis erhellt. Weiter nach rechts hin nimmt der letztere an Umfang wieder zu; er behält aber die nämlichen scharfen Umrisse, weil die peripherischen Strahlen sich innerhalb derselben projiciren. In der Nähe von f_4 erscheint sogar die Randzone des Lichtkreises entschieden heller, weil die aberrirenden Strahlen sich hier der Oberfläche des centralen Kegels nähern; sie sticht also noch entschiedener als vorher gegen die dunkle Umgebung ab.

Gerade umgekehrt sind die Erscheinungen, wenn die sphärische Aberration für die peripherischen Strahlen unterverbessert ist. Um die nämliche Construction auch auf diesen Fall anzuwenden, denken wir uns in obiger Figur das Objectiv in $A'B'$, statt in AB. Der Strahlenverlauf entspricht alsdann der entgegengesetzten Abweichung, und dieselbe Bewegung des Schirmes, die in Bezug auf AB eine Annäherung war, ist ein Fernerrücken in Bezug auf $A'B'$. Selbstverständlich bleiben aber die Projectionen der gesammten Strahlenmasse in den verschiedenen Lagen dieselben.

Ist also das Mikroskop möglichst genau auf die leuchtende Fläche eingestellt, so hat das Hineinschieben des Oculars bei einem überverbesserten Instrument ein stärkeres Hervortreten des Lichtnebels, bei einem unterverbesserten dagegen die Bildung einer scharf begrenzten, am Rande etwas helleren Lichtscheibe zur Folge, während das Herausziehen des Oculars natürlich jedesmal die entgegengesetzte Erscheinung hervorruft. Den nämlichen Effect erzielt man auch, wenigstens innerhalb der in Betracht kommenden Grenzen, wenn für

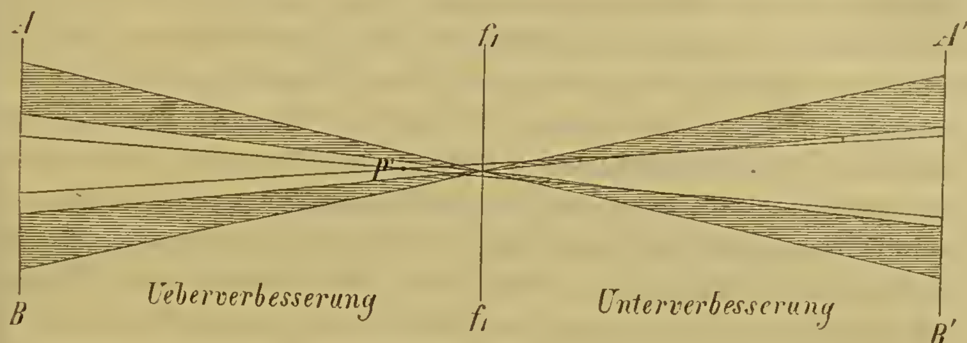
die Verschiebungen des Oculars, die ohne besondere Vorrichtungen mit mancherlei Unbequemlichkeiten verbunden sind, entsprechende Verschiebungen des Objects substituirt werden. Statt das Ocular mit Rücksicht auf das Objectiv näher oder entfernter zu rücken, nähert oder entfernt man das Object, senkt oder hebt man die Mikroskopröhre. Wo demnach eine tiefere Einstellung einen stärkeren Lichtnebel, eine höhere einen scharf begrenzten Lichtkreis hervorruft, besteht Ueberverbesserung; wo die Erscheinungen in umgekehrter Folge hervortreten, Unterverbesserung.

Zu diesen Wirkungen der sphärischen Aberration, die für sich allein schon sehr deutlich in die Augen fallen, gesellen sich noch diejenigen der chromatischen, welche in der Regel die Gegensätze noch steigern. Der Lichtnebel erscheint in Folge dessen bläulich und die Lichtscheibe erhält einen grünlich-gelben, aussen meist deutlich rothen Saum, der bis zu einer gewissen Grenze um so entschiedener hervortritt, je grösser sein Durchmesser. Die Unterscheidung der unter- und überverbesserten Aberration wird dadurch noch wesentlich erleichtert.

126 In mikrographischen Werken wird als ferneres Criterium der beiden entgegengesetzten Aberrationen noch hinzugefügt, dass die Details der Zeichnung im Bildchen, wie z. B. die Fensterrahmen bei Benutzung von Quecksilbertropfen, in welchen das Fenster sich spiegelt, oder die Formen der Ränder kleiner Oeffnungen in einem sonst schwarzen Gesichtsfelde, bei der Annäherung des Objectes auf einmal, beim Fernerrücken dagegen langsam verschwinde, wenn das Objectiv unterverbessert sei, und umgekehrt bei einem überverbesserten Instrument. So allgemein ausgesprochen ist diese Angabe offenbar unrichtig, und es stellt sich diess auch bei der experimentellen Prüfung heraus*). In unserem speciellen Fall, wie er in Fig. 81 dargestellt ist, müsste sogar das gerade Gegentheil stattfinden. Denn es ist einleuchtend, dass eine Verschiebung des bildauffangenden Schirms in der Richtung von f_1 nach f_4 die Schärfe des Bildes weniger beeinträchtigt, als die entgegengesetzte, weil alle Vereinigungspuncte der peripherischen Strahlen und folglich auch die denselben entsprechenden Bilder rechts von f_1, zwischen p und p', liegen. Eine Verschiebung in die-

*) Wir haben noch neuerdings ein Objectivsystem kennen gelernt, welches bei richtiger Einstellung das Luftblasenbildchen unseres Drahtgeflechtes sehr scharf wiedergab. Das Bild verschwand beim Heben und Senken des Tubus ziemlich rasch, kam jedoch bei stärkerer Hebung abermals, nur etwas verschwommen, zum Vorschein.

ser Richtung entspricht aber bei einem unterverbesserten Mikroskop einer Annäherung, bei einem überverbesserten einem Fernerrücken des Objects. Ist dagegen das Objectiv so construirt, dass die Randstrahlen des Lichtkegels bis zu einem gewissen Minimum der Neigung die bilderzeugenden sind, während die Centralstrahlen nach der einen oder andern Seite hin aberriren (Fig. 82), dann allerdings trifft die



Figur 82.

von den Mikrographen aufgestellte Regel zu. Es ist diess aber nur eine der mancherlei Combinationen, die sich denken lassen, und wenn sie auch möglicher Weise am häufigsten vorkommt (was wir übrigens bezweifeln), so ist es doch nicht gestattet, sie bei der Prüfung ohne Weiteres vorauszusetzen. Wir können daher das langsamere oder raschere Verschwinden des Bildchens beim Heben oder Senken des Focus nicht als Criterium der Ueber- oder Unterverbesserung gelten lassen, es sei denn, dass seine Anwendbarkeit vorher auf irgend eine Weise erwiesen worden.

Bei dem in Fig. 82 dargestellten Strahlenverlauf bedingt die 127
Einstellung des bildauffangenden Schirmes (oder des Ocularcinsatzes) auf die Ebene $f_1 f_1$, in welcher das Objectivbild zu Stande kommt, nothwendig einen schwachen, von den Centralstrahlen herrührenden Lichtschimmer, der indess bei einer kleinen Verschiebung nach rechts oder links sogleich verschwindet. Dabei ist es vollkommen gleichgültig, ob das Objectiv in AB oder in $A'B'$ gedacht werde; der Lichtkreis, der sich bei veränderter Einstellung auf dem Schirme ausbreitet, erscheint im einen wie im andern Falle vollkommen scharf begrenzt. Die sphärische Aberration giebt sich also bei einem solchen Strahlenverlauf nur in der Ebene des Bildes kund und zwar durch einen Lichtnebel, der beim Zurückziehen der Blendung, wodurch die Oeffnung des gesammten wirksamen Strahlenkegels verkleinert wird, keine merkliche Veränderung zeigt.

Kommen dagegen zu den bilderzeugenden peripherischen Strahlen noch weitere hinzu, welche wie die mittleren mit Aberration behaftet sind, so werden die Erscheinungen complicirter. Die Randstrahlen deuten alsdann durch die Wirkung, die sie bei höherer und tieferer Einstellung hervorbringen, auf Ueber- oder Unterverbesserung, gleichviel, ob die Centralstrahlen in der nämlichen oder in der entgegengesetzten Richtung aberriren. Es ist in diesem Falle nöthig, die Blendung so lange zu verkleinern oder zurückzuziehen, bis der bläuliche Lichtschimmer sich bei mittlerer Einstellung nicht weiter verändert und bei tieferer oder höherer Einstellung total verschwunden ist. Die zurückgebliebenen Spuren der Aberration können alsdann nur noch von den Centralstrahlen herrühren, und das oben erwähnte Criterium der Unter- und Ueberverbesserung, nämlich das raschere oder langsamere Verschwinden des Bildchens beim Heben oder Senken der Mikroskopröhre, findet — wie aus der Construction ohne Weiteres hervorgeht — seine Anwendung. Man wird indess in den meisten Fällen, wenn die Aberration der Centralstrahlen nicht einen sehr erheblichen Grad erreicht, ziemlich unsichere Resultate erhalten, weil auch die bilderzeugenden Strahlen sich nicht, wie wir vorausgesetzt haben, genau in demselben Puncte schneiden, sondern zum Theil mit der entgegengesetzten Längenabweichung behaftet sind. Die Umrisse des Bildchens verschwinden alsdann weder bei höherer noch bei tieferer Einstellung plötzlich, und es ist schwer zu sagen, welche von beiden langsamer wirkt. Diess ist auch der Grund, warum wir auf die Erörterungen weiterer Combinationen, welche mit Rücksicht auf die Aberrationen der verschieden geneigten Strahlen vorkommen können, verzichten. Die Erscheinungen, welche man für diese oder jene Annahme theoretisch festgestellt hat, treten bei der experimentellen Prüfung zu sehr getrübt und unentschieden hervor, als dass sie zur Beurtheilung des Objectivs noch sichere Anhaltspuncte lieferten.

128 Das wirklich praktische Prüfungsverfahren beschränkt sich also, wenn wir das Vorhergehende kurz zusammenfassen, auf folgende Puncte.

1) Man giebt dem vom Spiegel kommenden Lichtkegel eine wenigstens ebenso grosse Oeffnung, als sie das zu untersuchende Objectiv besitzt. Bei stärkeren Objectiven geschieht diess durch Anwendung eines passenden Beleuchtungsapparates oder in Ermangelung desselben durch Einschalten einer 3—4 m.m. im Durchmesser haltenden Objectivlinse unter dem Objectträger.

2) Man stellt hierauf das Mikroskop auf diejenige Ebene ein, in welcher die Details des Bildes, wie z. B. die Ränder kleiner Oeffnungen in einer geschwärzten Platte, am deutlichsten gesehen werden. Ist alsdann ein bläulicher Lichtnebel in der Umgebung des Bildchens bemerkbar, so ist die sphärische Aberration nicht gehörig corrigirt.

3) Um zu entscheiden, welche Strahlen des auffallenden Lichtkegels mit Aberration behaftet sind, ziehe man den Beleuchtungsapparat oder die Blendung allmählich zurück. Wenn alsdann der Lichtschimmer rasch abnimmt oder gänzlich verschwindet, so beschränkt sich die Aberration auf die Randstrahlen; behält er dagegen längere Zeit dieselbe Intensität, so liegt die Ursache der Erscheinung in den mittleren Strahlen. Im letzteren Fall, welcher übrigens seltener vorkommt, muss der Lichtschimmer verschwinden, wenn der centrale Theil des Objectivs durch eine geeignete Blendung ausser Wirkung gesetzt wird.

4) Man prüft die Erscheinungen, welche eine höhere oder tiefere Einstellung hervorruft, wobei in zweifelhaften Fällen die Verschiebung des Oculars den Vorzug verdient. Die Ueberverbesserung des Objectivs mit Rücksicht auf die Randstrahlen ist hiebei daran zu erkennen, dass der bläuliche Lichtnebel bei tieferer Einstellung sich weiter ausbreitet, bei höherer dagegen sogleich verschwindet, so dass das mikroskopische Bild sich als scharf begrenzter, meist grünlichgelb eingefasster Lichtkreis darstellt. Die Unterverbesserung ist durch die nämlichen Gegensätze in umgekehrter Aufeinanderfolge charakterisirt.

5) Die Aberration der Centralstrahlen lässt sich nur dann genauer ermitteln, wenn der dadurch hervorgebrachte Lichteffect ziemlich augenfällig ist — ein Fall, der nach unseren Erfahrungen fast gar nicht vorkommt.

6) Wenn die unter 4) erwähnten Erscheinungen unentschieden ausfallen, indem z. B. der Lichtschimmer sowohl bei höherer als bei tieferer Einstellung noch einige Zeit wahrnehmbar bleibt, so ist das ein Zeichen, dass im peripherischen Theil des Lichtkegels beiderlei Aberrationen vorkommen, vielleicht in Folge einer ungleichförmigen Krümmung der brechenden Flächen.

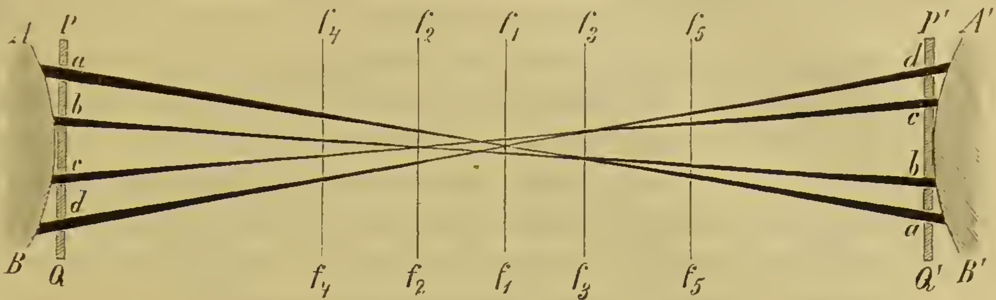
Wir haben uns bemüht, für die Kugelabweichung der verschie- 129
denen geneigten Strahlen noch irgend eine andere, wo möglich genauere
Prüfungsmethode ausfindig zu machen, jedoch ohne den gewünschten
Erfolg. Indess mag folgendes Verfahren, welches wenigstens grössere
Fehler sehr deutlich veranschaulicht, hier noch Erwähnung finden.

Man bedecke die hintere Endfläche des Objectivsystems mit einem kreisförmigen Blättchen von Papier oder Stanniol, in welchem 4—6 kleine Löchelchen so angeordnet sind, dass die am weitesten von einander abstehenden die äussersten Randstrahlen, die übrigen die mehr centralen Strahlen des wirksamen Lichtkegels durchlassen. Bringt man alsdann eine feine Lichtlinie, wie sie z. B. ein mit Luft gefülltes und von Wasser umgebenes Glasröhrchen liefert, als Object unter das Mikroskop, so erscheint dieselbe in jedem ordentlichen Mikroskop bei mittlerer Einstellung einfach, jedoch meistens etwas verwischt, bei höherer oder tieferer dagegen, der Zahl der Löcher entsprechend, 4—6fach. Diese Erscheinung kann an und für sich Niemanden auffallen; sie erklärt sich ganz einfach dadurch, dass der gemeinsame Kreuzungspunct der Strahlenbündel bei veränderter Einstellung ausserhalb der bildauffangenden Ebene (im Oculareinsatz) liegt, so dass sich auf derselben die noch nicht vereinigten, oder nach der Vereinigung wieder divergirenden Bündel einzeln projiciren und folglich durch die Ocularlinse auch einzeln, als getrennte Bilder, gesehen werden. Der gegenseitige Abstand dieser Bilder nimmt natürlich mit der Entfernung des gemeinsamen Kreuzungspunctes von der Projectionsebene zu und ab.

Nun kommen aber noch folgende besondere Umstände hinzu. Wenn man etwas genauer die Art und Weise beobachtet, wie die bei mittlerer Einstellung zusammenfallenden Bilder während der Hebung oder Senkung des Focus oder des Oculars auseinander treten, so macht man die Wahrnehmung, dass sich je nach der Eigenthümlichkeit des Objectivs bald die den peripherischen Bündeln entsprechenden extremen Linien, bald die mittleren zuerst von einander trennen, so dass im letzteren Fall zunächst eine Theilung in zwei Hälften und erst später eine weitere Spaltung dieser letzteren stattfindet. Die Deutung dieser Erscheinungen ergiebt sich von selbst, wenn man den Strahlenverlauf nach der Brechung in einem mit Aberration behafteten Objectiv durch die Construction veranschaulicht und dabei die bildauffangende Ebene in verschiedene Lagen bringt.

Sei AB (Fig. 83) ein überverbessertes, $A'B'$ ein unterverbessertes Objectiv und PQ und $P'Q'$ die Blendungen mit den 4 Löchelchen $abcd$, durch welche eben so viele Strahlenbündel in die Mikroskopröhre eintreten; dann muss eine bildauffangende Ebene in der Lage f_1 eine einfache Lichtlinie, in den Lagen f_2 und f_3 beziehlich 3 und 2 Lichtlinien, endlich in f_4 und f_5 4 Lichtlinien zur Wahrnehmung bringen. Ganz dasselbe gilt natürlich auch von der entsprechenden

höheren oder tieferen Einstellung des Mikroskops. Die Annäherung des Objects hat bei einem überverbesserten Objectiv zunächst eine



Figur 83.

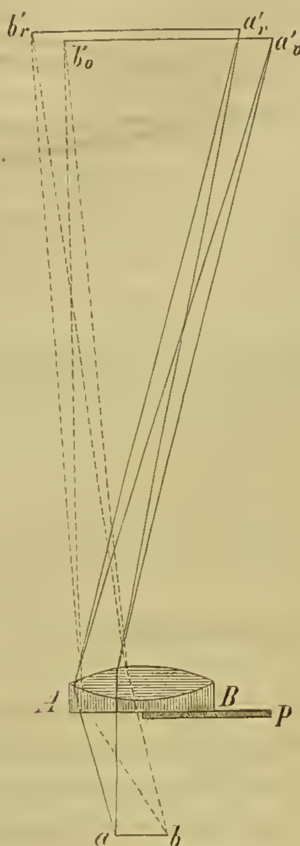
Dreitheilung, bei einem unterverbesserten dagegen eine Zweitheilung zur Folge. Das Fernerrüeken des Objeets ruft natürlieh jedesmal die entgegengesetzte Wirkung hervor.

III.

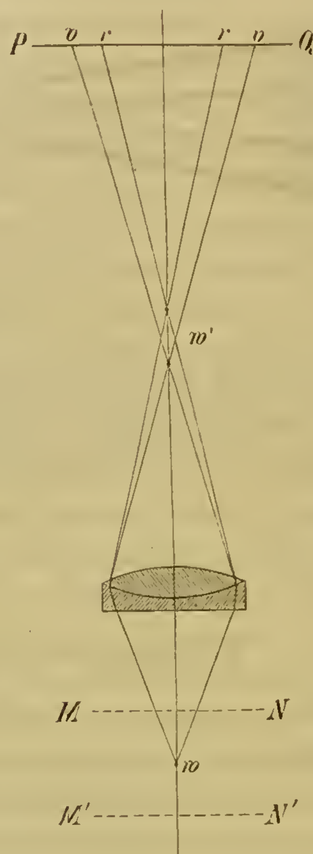
Prüfung der chromatischen Aberration.

Das einfaehste und zuverlässigste Mittel, die ehromatisehe Aber- 130
ration eines Linsensystems zu prüfen, besteht darin, die eine Hälfte der vorderen (oder nöthigenfalls hinteren) Endfläche mit einem Papier- oder Stanniolblättehen zu bedeeken, so dass nur die andere Hälfte optiseh wirksam bleibt. Bringt man alsdann eine Liehtlinie oder eine kleine leuehtende Fläehe (z. B. eine kleine Oeffnung in einer geschwärzten Platte) als Objeet unter das Mikroskop, so erseheint dasselbe in einem vollkommen aehromatisehen Instrument farblos, in einem über- oder unterverbesserten dagegen auf der einen Seite blau, auf der andern roth-orange oder gelb berandet. Welehe Anordnung diese Farben je naeh der Art der Abweiehung zeigen, lässt sieh ohne Weiteres aus Fig. 84 entnehmen. Es sei AB das zu untersuehende Objeetiv, dessen reehte Hälfte dureh die Blendung P bedeekt ist. Da nun die offengelassene linke Hälfte wie ein Prisma wirkt, so müssen, wenn die ehromatisehe Aberration unterverbessert ist, die versehiedenfarbigen reellen Bilder des Objects ab sieh offenbar so versehieben, dass das violette $(a'_v\ b'_v)$ auf der reehten, das rothe $(a'_r \cdot b'_r)$ auf der linken Seite am weitesten vorsteht. Das mikroskopisehe Bild erhält also auf der rechten Seite einen violetten oder blauen,

auf der linken einen rothen oder orangefarbigen Saum. Ist dagegen die chromatische Aberration überverbessert, so erscheint die linke Seite violett und die rechte roth oder orange.



Figur 84.



Figur 85.

131 In dem Vorhergehenden findet auch die von Mohl und Harting empfohlene Methode ihre Begründung. Sei w (Fig. 85) die als Object dienende selbstleuchtende Fläche, z. B. der virtuelle Brennraum einer Luftblase oder eines Quecksilbertropfens. Die mittlere Einstellung giebt alsdann ein scharfes, meist ganz farbloses Bild, weil die einfallenden Lichtkegel die ganze Oeffnung des Objectivs ausfüllen und die entgegengesetzten Aberrationsfarben der rechten und linken Hälfte sich zu Weiss ergänzen. Hebt man dagegen den Focus des Mikroskops in die Ebene MN, so werden dadurch die Bedingungen der Strahlenbrechung wesentlich geändert. Das eigentliche Bild kommt jetzt weiter unten in der Mikroskopröhre bei w' zu Stande; das Ocular erhält also bloss die davon ausgehenden divergirenden Strahlen, die sich auf der bildauffangenden Ebene PQ als Lichtkreis

projiciren. Jede Hälfte des Oculars wirkt also gesondert: ein beliebiger Sector des Lichtkreises wird von einem entsprechenden, aber opponirten Sector des Objectivs entworfen und zeigt daher auch die Spuren der dem letzteren eigenthümlichen Aberration. Ist das Objectiv unterverbessert, werden also die violetten Strahlen (v) stärker gebrochen als die rothen (r), so erhält der Lichtkreis, wie man ohne Weiteres aus der Construction ersieht, einen blauen, im Fall einer Ueberverbesserung dagegen einen rothen Saum.

Ebenso lässt sich durch eine ganz ähnliche Betrachtung darthun, dass wenn das Mikroskop auf die tiefer gelegene Ebene $M'N'$ eingestellt wird, die entgegengesetzten Farben zum Vorschein kommen müssen. Ein rother Saum deutet alsdann auf Unterverbesserung, ein blauer auf Ueberverbesserung.

Dieses Prüfungsverfahren ist unstreitig sehr einfach und theoretisch betrachtet vollkommen begründet. Man wird jedoch in den meisten Fällen die Ueberzeugung gewinnen, dass die zuerst erwähnte Methode bei kleinen Aberrationen entscheidendere Ergebnisse liefert. Will man das etwas umständliche Bedecken der Linsen vermeiden, so braucht man bloss eine kleine Oeffnung auf dunkelm Grunde als Object zu wählen, dieselbe in die Mitte des Gesichtsfeldes zu placiren und hierauf den Spiegel so weit seitlich zu schieben, dass er von der Axe des Mikroskops nicht mehr geschnitten wird. Es ist einleuchtend, dass alsdann der einfallende Lichtkegel nur die dem Spiegel opponirte Hälfte der Objectivvorderfläche trifft.

Prüft man nun verschiedene Mikroskope in der angegebenen 132
Weise, so wird man in der Mehrzahl der Fälle die Charaktere einer entschiedenen Unterverbesserung oder Ueberverbesserung wahrnehmen. Die Objective, welche für die rothen und violetten Strahlen achromatisch sind und daher bloss die Farben des secundären Spectrums hervorrufen, sind nach unseren Erfahrungen ziemlich selten. Bei manchen Mikroskopen erscheinen die Farbensäume am Rande des Gesichtsfeldes viel intensiver als in dessen Mitte; ja es kann sogar vorkommen, dass die an einer Stelle des Gesichtsfeldes beobachtete Aberration an einer andern mehr centralen oder opponirten Stelle in die entgegengesetzte umschlägt. Diess ist z. B. bei den Objectiven Nr. 7 und 9 von Bénèche in einem sehr merklichen Grade der Fall. Andere sind für die Randpartieen des Gesichtsfeldes achromatisch, für die Mitte dagegen unterverbessert.

Wir haben im Vorhergehenden stillschweigend vorausgesetzt, 133
dass die Farbensäume, welche von der chromatischen Aberration des

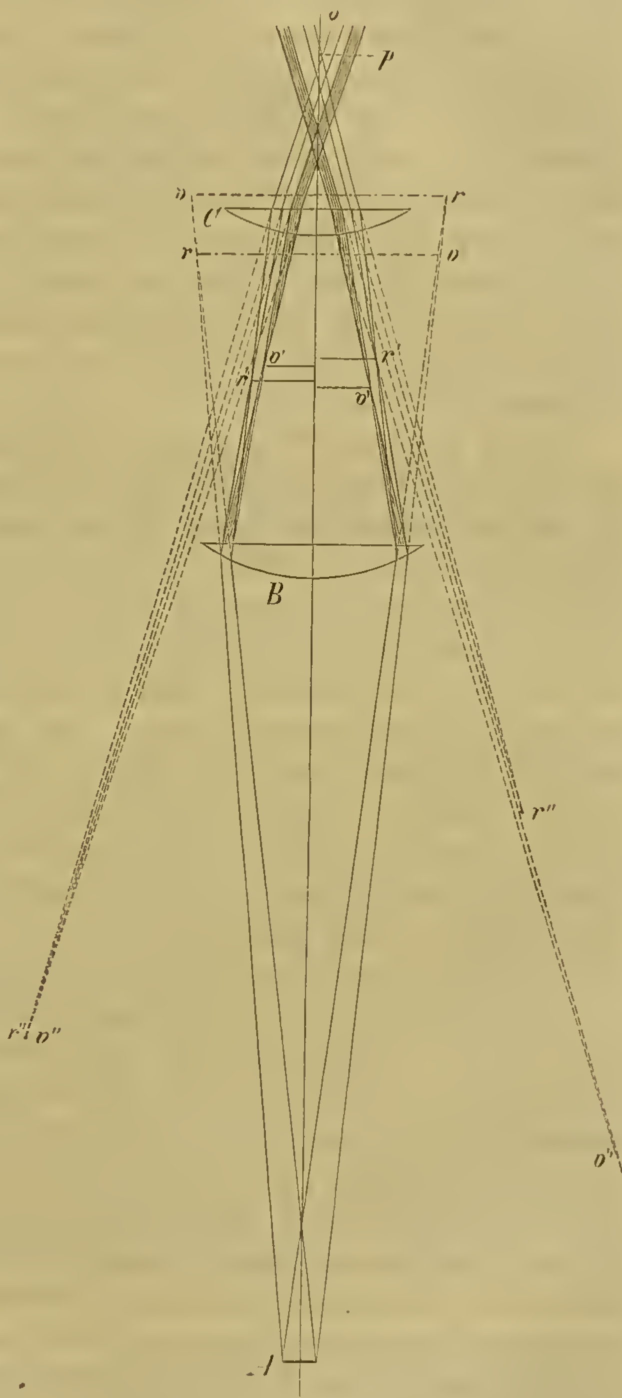
Objectivs herrühren, von dem beobachtenden Auge unverändert gesehen werden. Diese Voraussetzung war für eine vorläufige Betrachtung zulässig, da es sich vor Allem um qualitative, nicht um quantitative Verschiedenheiten in den Erscheinungen handelte. Dieselbe ist jedoch, wie leicht einzusehen, in keinem Fall streng genommen richtig, weil sowohl die Brechungen im Ocular, als diejenigen im Auge des Beobachters selbst wieder mit Farbenzerstreuung verbunden sind. Beide Puncte, die Wirkung des Oculars und diejenige des Auges, verdienen daher eine eingehende Erörterung.

Was zunächst das Ocular betrifft, so ist es ein vielverbreiteter Irrthum, der in mikrographischen Werken und physikalischen Lehrbüchern stereotyp geworden, dass das Zusammenwirken der Collectiv- und Ocularlinse die fehlende Achromasie des Objectivs bis zu einem gewissen Grade ersetze. Die Sache wird gewöhnlich so dargestellt und begründet, dass man das rothe und violette Objectivbild, sowie die entsprechenden Bilder des Collectivs und des Oculars, in gewohnter Weise mit Hülfe der Richtungsstrahlen (d. h. der Strahlen, welche durch den optischen Mittelpunct der Linsen gehen) construirt, wobei sich dann allerdings die Möglichkeit herausstellt, der Ocularlinse stets eine solche Lage zu geben, dass die schliesslichen virtuellen Bilder, nahezu unter dem nämlichen Winkel gesehen werden und sich folglich decken müssen. Diese Theorie des Campani'schen Oculars, wie sie z. B. in Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik, in Fick's medizinischer Physik, in Harting's »Mikroskop« etc. entwickelt ist, entbehrt jedoch, wie im Folgenden gezeigt werden soll, jeder thatsächlichen Grundlage. Die Schlüsse sind zwar vollkommen richtig, aber die Voraussetzungen sind falsch.

Es wurde bereits früher darauf hingewiesen, dass das vom Collectiv entworfene reelle Bild unter ganz besonderen Verhältnissen zu Stande kommt, in Folge deren die Construction desselben durch einfaches Ziehen der Richtungsstrahlen unstatthaft wird. Genau dasselbe gilt aber auch für das virtuelle Bild des Oculars. Jeder Punct dieser Bilder wird von einem anderen Flächenelement der Linse entworfen als der benachbarte; je weiter der Bildpunct vom Centrum des Gesichtsfeldes absteht, um so weiter ist auch das betreffende Stück der brechenden Fläche vom Centrum der Linse entfernt. Dazu kommt, dass die einfallenden Lichtkegel, da wo sie die Linse treffen, so verschmälert sind, dass sie kaum einen Durchmesser von $1^{\text{m.m.}}$ besitzen, folglich beinahe wie einfache Strahlen gebrochen werden.

134 Nach dieser Feststellung der thatsächlichen Verhältnisse, welche

die herkömmliche Darstellungsweise ignorirt, wollen wir es versuchen, die Wirkung des Campani'schen Oculars durch eine Construction zu veranschaulichen, in welcher alle wesentlichen Factoren berücksichtigt sind. Es sei *A* (Fig. 86) das Objectiv, *B* das Collectiv und *C* das Ocular. Als Object mag das ganze Gesichtsfeld, oder eine kleine Oeffnung in einer geschwärzten Platte, oder irgend ein anderer Gegenstand angenommen werden, insofern er nur der Bedingung genügt, dass die von ihm ausgehenden Strahlenkegel die ganze Oeffnung des Objectivs oder doch wenigstens den centralen Theil derselben ausfüllen. Diess vorausgesetzt, werden die verschiedenfarbigen Strahlen offenbar so gebrochen, dass die einem bestimmten Objectpuncte entsprechenden ausfahrenden Lichtkegel die Axe mit einander gemein haben. Die Richtungslinien, in welchen die Spitzen verschiedenfarbiger Kegel liegen,



Figur 86.

sind also gegeben; nur das Niveau dieser Spitzen ist unbestimmt,

weil abhängig von der Farbenabweichung des Objectivs. In unserer Figur entsprechen die beiden symmetrischen Lichtkegel, rechts und links von der Mittellinie, zwei opponirten Randpuncten des Objects. Da die Brechungen, welche sie erfahren, natürlich ebenfalls symmetrisch sind, so hätte es genügt, die Construction auf der einen Seite auszuführen und die Bildpuncte der andern in gleichen Abständen hinzuzufügen. Statt dessen wurden zur bequemeren Vergleichung zwei entgegengesetzte Fälle neben einander gestellt: linker Hand der Strahlengang bei chromatischer Ueberverbesserung des Objectivs, rechter Hand derselbe bei eben so starker Unterverbesserung. Die Scheitel der violetten Strahlenkegel sind beiderseits mit v, die der rothen mit r bezeichnet; ebenso die entsprechenden Puncte des reellen Bildes mit v' und r'.

Es ist nun ohne Weiteres klar, dass die rothen und violetten Lichtbündel im Collectiv beiderseits die nämliche Ablenkung erfahren, weil sie dasselbe auch unter dem nämlichen Winkel treffen. Die Kreuzungspuncte o und p der gleichnamigen Bündel liegen also nothwendig in der Axe. Betreffend die Lage der reellen Bildpuncte v' und r' ist wenigstens so viel sicher, dass auf der linken Seite r', auf der rechten v' dem Collectiv näher zu liegen kommt, als der gleichnamige Bildpunct der andern Seite. Der Abstand in der Richtung der Axe ist jedoch nothwendig kleiner, als derjenige der beiden r oder der beiden v. Ebenso ist klar, dass bei gleichem Abstand der virtuellen Objecte v und r das violette Bild v' in etwas geringerer Entfernung vom Collectiv zu Stande kommt, als das rothe r'. Die beiderseitigen reellen Bilder müssen demnach ungefähr die Anordnung zeigen, wie sie in der Figur dargestellt ist.

Die Brechung im Ocularglas hängt natürlich, wie bereits oben (Nr. 61 und die vorhergehenden) gezeigt wurde, von der Lage des letzteren ab. Liegt der Krümmungsmittelpunct der brechenden Kugelfläche zwischen den Kreuzungspuncten o und p, so findet die erste Brechung der beiden Lichtbündel in entgegengesetztem Sinne statt, und es lässt sich, je nach Bedürfniss, ein Verhältniss herstellen, welches die Divergenz derselben in einem beliebigen Grade mildert oder auch einen vollständigen Parallelismus herstellt. Zur Erreichung dieses Zieles ist übrigens die Brechung in entgegengesetztem Sinne keineswegs unerlässliche Bedingung. Der Umstand, dass die rothen Strahlen die Ocularlinse in grösserer Entfernung vom Centrum treffen, als die blauen, und daher wegen der Kugelabweichung auch stärker gebrochen werden, genügt vollkommen, um solche Differenzen

der Neigung aufzuheben, ja sogar in die entgegengesetzten überzuführen. Erwägt man, dass die hierauf beruhenden Unterschiede in der Ablenkung um so bedeutender sind, je weiter das Ocular vom Collectiv absteht, so wird es sehr erklärlich, dass eine allmähliche Vergrösserung dieses Abstandes die ausfahrenden Bündel endlich zur Convergenz bringt. In diesem Falle treffen sie aber, rückwärts verlängert, die Ebene der virtuellen Bilder so, dass das Roth im Gesichtsfeld aussen, das Violett innen zu stehen kommt. Das Object erhält alsdann einen rothen oder orangefarbigen Saum. Umgekehrt bewirkt eine zu grosse Annäherung des Oculars an das Collectiv einen blauen Saum, weil die Divergenz der ausfahrenden Strahlen dadurch wieder gesteigert wird, so dass nunmehr die violetten Bündel das Gesichtsfeld weiter aussen treffen.

Aus dem eben Gesagten geht hervor, dass sich für jedes Auge eine bestimmte Stellung der Ocularlinse ausfindig machen lässt, bei welcher die austretenden verschiedenfarbigen Lichtbündel, rückwärts verlängert, genau in der Entfernung sich kreuzen, für welche dasselbe eingestellt ist. Sie vereinigen sich alsdann in einem Puncte der Netzhaut zu weissem Licht, und das resultirende Bild ist frei von Farbensäumen.

Bis hieher haben die gezogenen Schlüsse, wie leicht einzusehen, 135
allgemeine Gültigkeit, da die Ueber- oder Unterverbesserung des Objectivs dabei gar nicht in Betracht kommt. Zur vollständigen Achromasie ist nun aber weiter erforderlich, dass die virtuellen Bilder von r' und v', die wir schliesslich beobachten, in der nämlichen Entfernung zu Stande kommen, in welcher die entsprechenden Lichtkegel sich kreuzen. Mit andern Worten: die Axen der verschiedenfarbigen Lichtkegel müssen rückwärts nach denselben Puncten convergiren, von welchen auch die einzelnen Strahlen eines Kegels zu kommen scheinen. Offenbar kann diese Bedingung nicht gleichzeitig für die rechte und linke Seite der Figur erfüllt werden, weil die Entfernungen der gleichfarbigen reellen Bilder vom Ocularglas nicht die nämlichen sind. Wegen der Farbenabweichung [*]) des letzteren ist es

*) Zur genaueren Orientirung mögen folgende Ziffern dienen. Eine planconvexe Kronglaslinse, deren Krümmungsradius = 15 $^{\text{m.m.}}$, giebt für die Brennweite der violetten Strahlen 27,77 $^{\text{m.m.}}$, für die der rothen 28,84 $^{\text{m.m.}}$, also eine chromatische Längenabweichung von 1 $^{\text{m.m.}}$ In gleicher Weise entsprechen sich auch die Brennweiten von 46,3 und 48 $^{\text{m.m.}}$ bei einem Krümmungsradius von 25 $^{\text{m.m.}}$ Wird die letztere Linse als Collectiv, die erstere als Ocular benutzt, und wird der

sogar unerlässlich, dass v' etwas näher zu liegen komme als r', wenn die virtuellen Bilder v'' und r'' coincidiren sollen. Die umgekehrte Anordnung, wie sie die Unterverbesserung des Objectivs mit sich bringt, ist somit unvereinbar mit den Bedingungen der Achromasie, — und insofern ist die herkömmliche Darstellungsweise vollkommen begründet. Es folgt aber daraus noch keineswegs, dass ein unterverbessertes Objectivbild durch das Ocular einen rothen oder orangefarbigen Saum erhalte. Denn da die Bildpuncte v'' und r'' die Spitzen der ausfahrenden Lichtkegel sind und folglich beim Näher- und Fernerrücken der Ocularlinse sich etwas gegen einander verschieben (während die Abstände constant bleiben), so ist es immer möglich, denselben eine solche Lage zu geben, dass sie für das beobachtende Auge sich decken. In diesem Falle erscheint aber das resultirende Bild entweder vollkommen farblos oder doch nur von den Farben des secundären Spectrums umsäumt.

Die Beseitigung der blauen oder rothen Farbensäume bildet demnach noch kein Criterium der eigentlichen, wahren Achromasie; sie ist bei unterverbesserten und achromatischen Objectiven eben so gut möglich, als bei überverbesserten, — und insofern ist die gewöhnliche Darstellungsweise unrichtig*).

Vollkommen unhaltbar aber wird diese Darstellung, wenn das reelle Bild von einem excentrischen Theil des Objectivsystems, z. B. von der einen Hälfte desselben, entworfen wird — ein Fall, der bei mikroskopischen Untersuchungen weitaus am häufigsten vorkommt. Der Mangel an Achromasie muss sich alsdann, wie oben gezeigt wurde, dadurch kundgeben, dass die verschiedenen Farben seitlich gegen einander verschoben sind, so dass auf der einen Seite das Roth, auf der andern das Violett vorsteht. Es ist klar, dass unter solchen Verhältnissen eine Correction des Objectivbildes durch das Ocular absolut unmöglich wird. Die farbigen Säume können wohl etwas mo-

---

Abstand des virtuellen Objects vom Collectiv zu 50 m.m. angenommen, so kommt das violette Collectivbild in einem Abstand von 24 m.m. zu Stande, und das rothe rückt noch um ½ m.m. höher hinauf. Da nun die Farbenabweichung des Oculars gerade die entgegengesetzte Anordnung verlangt, so muss das Objectiv so stark überverbessert sein, dass die rothen Strahlen nach einem etwa 6 m.m. tiefer liegenden Puncte convergiren.

*) Das Fehlen der Farbensäume beweist eigentlich nach Früherem nur, dass Collectiv und Ocular ein für rothes und blaues Licht gleich aplanatisches System bilden. Die Convergenzpuncte der verschiedenfarbigen Strahlenbündel kommen dabei nicht in Betracht.

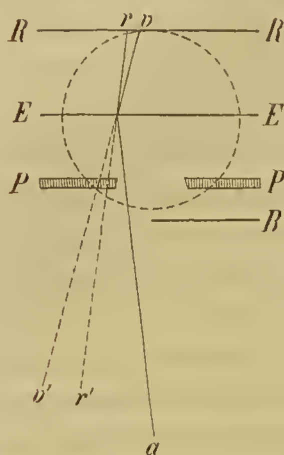
dificirt, aber niemals auf beiden Seiten zugleich zum Verschwinden gebracht werden.

Die chromatische Aberration des Objectivs kann also, wir wiederholen es, durch die entgegengesetzte des Oculars nur in ganz bestimmten Fällen, in der Regel aber nicht beseitigt werden. Dasselbe gilt natürlich auch, und zwar ohne alle Einschränkung, von der sphärischen Aberration. Denn da die einfallenden Lichtkegel im Ocular weniger als einen Quadratmillimeter der brechenden Flächen treffen, so ist bei den verhältnissmässig schwachen Krümmungen derselben nicht wohl anzunehmen, ja es ist geradezu unmöglich, dass eine irgend erhebliche Aberration noch stattfinden oder eine schon vorhandene compensirt werden könne. 136

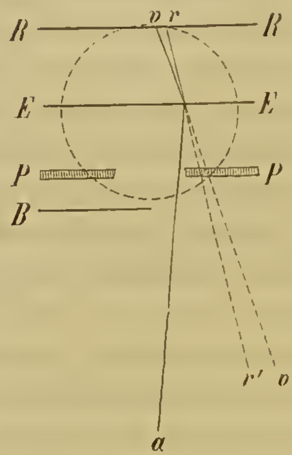
So gelangen wir denn schliesslich zu dem Ergebniss, dass die Merkmale der chromatischen und sphärischen Ueber- oder Unterverbesserung, welche das mitgetheilte Prüfungsverfahren (wobei nur die Hälfte des Objectivs optisch wirksam ist) zur Wahrnehmung bringt, in allen Fällen, wo sie entschieden hervortreten, einzig und allein auf das Objectiv zu beziehen sind.

Der zweite Punct, den wir zu berücksichtigen haben, nämlich 137
die chromatische Aberration des Auges, ist im Princip als erledigt zu betrachten. Es ist vollkommen sicher, dass das Auge mit einer sehr merklichen Farbenabweichung behaftet ist, von der man sich leicht überzeugen kann, wenn man die Pupille zur Hälfte bedeckt und den Blick nach irgend einem hellen Gegenstande, z. B. nach einer Fensterscheibe richtet. Der eine Rand erscheint alsdann, ganz wie im mikroskopischen Bilde, deutlich blau, der andere orange oder gelb. Es kann also nur noch die Frage in Betracht kommen, ob diese Farbenabweichung diejenige des Mikroskops in einem erheblichen Grade zu steigern oder zu compensiren vermöge. Um hierüber Aufschluss zu erhalten, hat man nur nöthig, die aus dem Ocular hervortretenden Lichtbündel durch einen möglichst excentrischen Theil der Pupillenöffnung auf die Netzhaut gelangen zu lassen. Zu diesem Ende hält man das Auge ungefähr in der Höhe, in welcher diese Lichtbündel die optische Axe schneiden (in den sogenannten Augenpunct) und bewegt dasselbe soweit nach rechts und nach links, bis das mikroskopische Bild eben noch sichtbar ist. Man wird dabei immer beobachten, dass die rothen und blauen Ränder desselben je nach der Lage des Auges intensiver oder schwächer erscheinen, dass sie oft vollständig verschwinden oder sogar in die entgegengesetzten übergehen. Diese Erscheinungen lassen sich in jedem gegebenen Falle am leich-

testen erklären, wenn man die Wirkung des blossen Auges auf weisses Licht als Ausgangspunct wählt. Ist *EE* (Fig. 87 und 88) die Hauptebene des Auges, *R* die Retina und *P* die Pupille, welche durch die Blendung *B* in der angedeuteten Weise zur Hälfte bedeckt ist, so muss ein farbloses Object *a* unter den in Fig. 87 dargestellten Verhältnissen links blau und rechts roth berandet erscheinen, weil das violette Bild *v* eines beliebigen Objectpunctes auf der Netzhaut mehr rechts zu liegen kommt und daher vom Bewusstsein einem mehr links liegenden Gegenstand *v'* zugeschrieben wird. Deckt man dagegen, wie in Fig. 88, die linke Hälfte der Pupillenöffnung zu, so ist die Anordnung der Farbensäume, wie ein Blick auf die Construction zeigt, die entgegengesetzte.



Figur 87.



Figur 88.

Wo demnach in einem dioptrischen Bilde die nämlichen Farbensäume in gleicher Anordnung vorhanden sind, wie sie auch die Brechung im Auge hervorruft, da muss sie das letztere noch verstärkt zur Wahrnehmung bringen, während die entgegengesetzte Anordnung natürlicher Weise eine Verschmälerung und unter Umständen ein Verschwinden derselben zur Folge hat. Daraus folgt aber, dass die Aberration des Auges in allen Fällen, wo es sich um seitliche Verschiebungen der verschiedenfarbigen Bildpuncte handelt, eben so gut einem unterverbesserten, als einem überverbesserten Objectivbilde zu Gute kommen kann, da ja die Anordnung der Farben nur davon abhängt, ob die eine oder die andere Hälfte des Objectivs oder das Auges wirksam sei. Beruht dagegen die chromatische Aberration gleichzeitig oder ausschliesslich auf Niveaudifferenzen der verschiedenfarbigen Bilder, wie z. B. bei der Prüfung des optischen Vermögens mit dem Drahtnetz, so ist es einleuchtend, dass das Auge nur die entgegengesetzten Abweichungen zu mildern oder zu compensiren vermag. Dieser Umstand mag in der praktischen Optik einige Beachtung verdienen; entscheidend ist er aber nicht, weil bei organischen

Objecten gerade die seitlichen Verschiebungen die häufigsten sind und diese letzteren, weil sie in den verschiedensten Richtungen stattfinden, sich nicht beseitigen lassen.

Die günstigste Combination für das Netzhautbildchen bleibt also 138
immerhin ein aberrationsfreies mikroskopisches Bild als Object und das gewohnte Sehen durch den centralen Theil der Pupillenöffnung. Und als bestes Objectiv stellt sich nach all' diesen Erörterungen dasjenige heraus, welches sowohl mit Rücksicht auf sphärische als auf chromatische Aberration möglichst corrigirt ist.

Ob die Herstellung achromatischer oder schwach überverbesserter Oculare die damit verbundene Mühe und grösseren Kosten lohnen würde, wollen wir dahin gestellt sein lassen. Es versteht sich jedoch von selbst, dass das mikroskopische Bild durch eine günstige Combination von Collectiv- und Oculardoppellinsen nur gewinnen könnte.

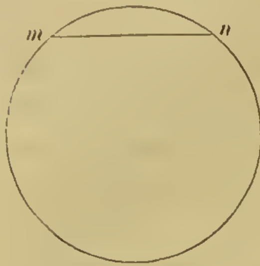
IV.

Prüfung der »Ebenung des Gesichtsfeldes«.

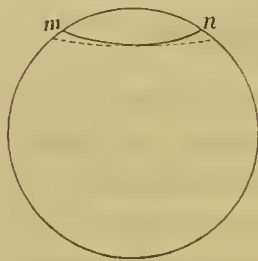
Da der herkömmliche Ausdruck »Krümmung des Gesichtsfeldes«, 139
wie wir oben gezeigt haben, zwei von einander unabhängige Begriffe umfasst, nämlich 1) die Verzerrung des Bildes und 2) die Wölbung der Bildfläche, so sind bei der Prüfung des Mikroskops diese beiden Momente gesondert in Betracht zu ziehen. Was zunächst die Verzerrung des Bildes betrifft, so lässt sich der Grad derselben am besten mit Hülfe eines quadratischen Maschennetzes, z. B. eines in viereckige Felder getheilten Glasmikrometers bestimmen, welches als Object unter das Mikroskop gebracht wird. Dasselbe erscheint nämlich, je nachdem die Vergrösserung von innen nach aussen zu- oder abnimmt, wie in Fig. 22 oder wie in Fig. 21 (pag. 54), und nur wenn gar keine Verzerrung stattfindet, stimmen die Maschen des Bildes mit denen des Objectes überein. Aus der Krümmung der Linien in Fig. 21 und 22 ergiebt sich übrigens, dass schon eine einzige gerade Linie, wenn dieselbe dem Rande des Gesichtsfeldes genähert wird, ein vollkommen ausreichendes Probeobject bildet.

Will man das Verhalten der Bilder prüfen, welche das Objectiv für sich allein und unter Mitwirkung der Collectivlinse entwirft, so geschieht diess am einfachsten in folgender Weise. Man legt auf die Blendung im Oculareinsatz (nach Wegnahme der Ocularlinse) ein

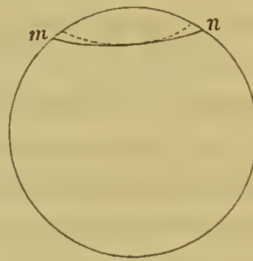
Deckgläschen mit geradem Rande, und zwar so, dass der letztere in der kreisförmigen Blendung als Sehne erscheint (*mn* in Fig. 89). Mit dieser Sehne sucht man das reelle Bild einer anderen Geraden, die als Object dient, zur Deckung zu bringen, was genau in derselben Weise bewerkstelligt wird, wie z. B. bei der mikrometrischen Messung das Einstellen eines bestimmten Theilstriches auf den Rand eines Objectes. Findet eine vollkommene Deckung statt, d. h. fallen die beiden Geraden — gleichviel, ob sie im virtuellen Bilde gerade oder gekrümmt erscheinen — in ihrer ganzen Länge zusammen, so ist das reelle Bild »geradflächig«, in jedem andern Falle dagegen verzerrt. Eine Verzerrung wie in Figur 21, wobei die Randpartieen schwächer vergrössert erscheinen, als die im Centrum liegenden, wird dadurch bemerkbar, dass, wenn die beiden Linien sich in der Mitte berühren, die Enden der im Oculareinsatz angebrachten Geraden *mn* mehr nach aussen zu liegen kommen (Fig. 90), während die umgekehrte Verzerrung durch die Abweichung dieser Enden nach innen zu angezeigt wird (Fig. 91). Aus der Krümmung der Geraden *mn* selbst ergiebt sich diejenige des virtuellen Bildes, welches die Ocularlinse unter den gegebenen Verhältnissen von einer ebenen Fläche entwirft.



Figur 89.



Figur 90.



Figur 91.

Die in der angegebenen Weise untersuchten Instrumente (Oberhäuser, Hartnack, Bénèche, Merz, Kellner) zeigten übrigens wider Erwarten keine irgend nennenswerthe Verzerrung des Objectivbildes, man mochte dasselbe mit oder ohne Collectiv untersuchen. Nur war in letzterem Falle das schliessliche virtuelle Bild viel stärker verzerrt, weil die Ocularlinse in ihrem ganzen Durchmesser, also mit weit grösserer Oeffnung, optisch wirksam und überdiess die Richtung der einfallenden Strahlen eine ungünstigere war. Dasselbe Resultat ergab auch eine andere Prüfungsweise, wobei die mit oder ohne Collectiv zu Stande gebrachten Objectivbilder am obern Ende der Mikroskopröhre (nach Wegnahme des Oculars) auf mattem Glas aufgefangen wurden.

Um nun noch die Wölbung der Bildfläche zu prüfen, bedient man sich einer genau ebenen Fläche mit feiner Zeichnung, wie man sie z. B. erhält, wenn man eine Glasplatte mit der Fingerspitze reibt, als Object und untersucht alsdann, ob alle Puncte des Gesichtsfeldes gleichzeitig deutlich gesehen werden können. Ist diess nicht der Fall und findet man, wie gewöhnlich, dass die peripherischen Puncte eine tiefere Einstellung erfordern, als die centralen, so ist die Bildfläche, wie leicht einzusehen, nach oben convex. Die Wölbung ist natürlich um so stärker, je grösser die Niveaudifferenz.

Das Auflegen eines Deckgläschens mit ähnlicher Zeichnung auf die Blendung im Ocularensatz giebt auch hier ein Mittel an die Hand, die Wölbung des Objectivbildes nach denselben Principien zu ermitteln, wie im Vorhergehenden die Verzerrung.

V.

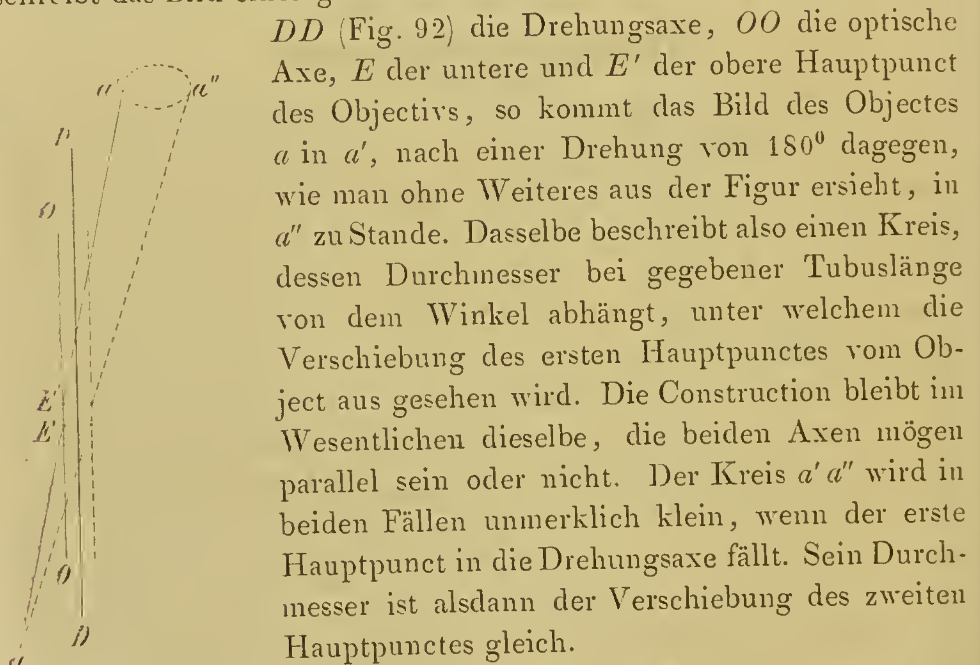
Prüfung der Centrirung.

Wir haben oben gezeigt, dass die ungenaue Centrirung eines 140
Linsensystems sich im Allgemeinen auf zweierlei Weise kundgebe: 1) durch eine Verundeutlichung der Bilder, welche zunächst nur den Rand des Gesichtsfeldes trifft und erst bei grösseren Abweichungen sich bis gegen die Mitte erstreckt, in allen Fällen jedoch von aussen nach innen abnimmt; 2) durch die Ortsveränderungen, welche ein beliebiger Bildpunct erfährt, wenn das Objectiv oder einzelne Linsen desselben um die Axe des Mikroskops gedreht werden. Der erste Punct wird am einfachsten dadurch geprüft, dass man das optische Vermögen des Mikroskops für verschiedene Stellen des Gesichtsfeldes bestimmt und die erhaltenen Ergebnisse unter sich vergleicht. Man hat dabei namentlich darauf zu achten, ob vielleicht der linke Rand entschieden schwächere Bilder liefere, als der rechte, ob überhaupt eine störende Ungleichheit in der Vertheilung der optischen Kraft und in deren Abnahme vom Centrum gegen die Peripherie stattfinde. Wo solche Differenzen nicht vorkommen, wo höchstens ein geringer, durch die Aberrationen des Oculars bedingter und daher gleichmässiger Ausfall gegen den Rand zu sich nachweisen lässt, da darf man versichert sein, dass die Fehler der Centrirung möglichst vermieden, d. h. auf Zonen reducirt sind, die ausserhalb des Gesichtsfeldes liegen oder doch nur wenig über den Rahmen desselben hereinragen.

141 Was den zweiten Punct betrifft, so ist vor Allem daran zu erinnern, dass die fraglichen Ortsveränderungen den Abweichungen der optischen Axen keineswegs proportional sind; dass sie möglicherweise abnehmen (ja sogar Null werden), während die letzteren zunehmen, und umgekehrt. Ferner ist zu berücksichtigen, dass bei dem gewöhnlichen Prüfungsverfahren, wobei die Drehung der Linsen durch Zurückschrauben derselben bewerkstelligt wird, die Drehungsaxe nicht nothwendig mit der Axe des Mikroskops zusammenfällt. Unter diesen Verhältnissen müssen bei der Prüfung der Ortsveränderungen, welche die Linsenumdrehung verursacht, folgende Fälle unterschieden werden.

1) Ist die Centrirung des Objectivsystems vollkommen und fällt seine optische Axe mit der Drehungsaxe zusammen, so zeigt das Bild während der Drehung keinerlei Ortsveränderung.

2) Ist die Centrirung des Objectivsystems vollkommen; fällt aber seine optische Axe nicht mit der Drehungsaxe zusammen, so beschreibt das Bild einen grösseren oder kleineren Kreis. Denn ist z. B. DD (Fig. 92) die Drehungsaxe, OO die optische Axe, E der untere und E' der obere Hauptpunct des Objectivs, so kommt das Bild des Objectes a in a', nach einer Drehung von 180° dagegen, wie man ohne Weiteres aus der Figur ersieht, in a'' zu Stande. Dasselbe beschreibt also einen Kreis, dessen Durchmesser bei gegebener Tubuslänge von dem Winkel abhängt, unter welchem die Verschiebung des ersten Hauptpunctes vom Object aus gesehen wird. Die Construction bleibt im Wesentlichen dieselbe, die beiden Axen mögen parallel sein oder nicht. Der Kreis $a'a''$ wird in beiden Fällen unmerklich klein, wenn der erste Hauptpunct in die Drehungsaxe fällt. Sein Durchmesser ist alsdann der Verschiebung des zweiten Hauptpunctes gleich.


Figur 92.

3) Ist die Centrirung des Objectivsystems ungenau, so sind zwar noch bestimmte Fälle denkbar, in welchen keine Ortsveränderung erfolgt; im Allgemeinen aber muss eine solche stattfinden, welche Lage man auch der Drehungsaxe geben mag. Dagegen können einzelne Linsen oder Linsencombinationen, deren optische Axe mit der Drehungsaxe zusammenfällt, für sich allein ohne irgend welche Folgen gedreht werden. Die nicht centrir-

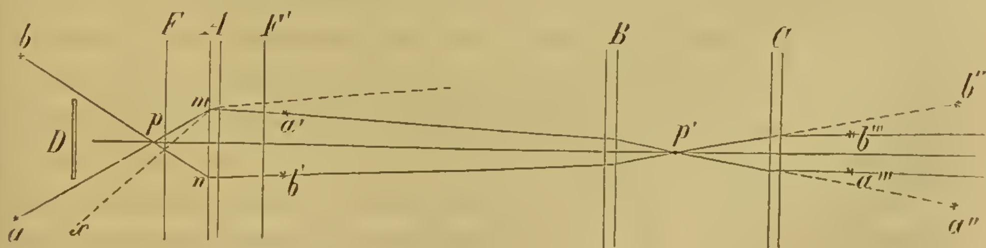
ten Linsen verursachen, einzeln gedreht, eine um so grössere Verschiebung, je weiter ihre Hauptpuncte von der Drehungsaxe abstehen.

Für die Praxis geht aus diesen Folgerungen klar hervor, dass die während der Umdrehung der Linsen durch Losschrauben stattfindenden Ortsveränderungen des Bildes eben so sehr von der genauen Construction der Fassungen und Schraubengewinde, als von den Abweichungen der optischen Axen vor dem Losschrauben abhängig sind. Nur wenn die Linsen einen verhältnissmässig grossen Durchmesser haben, wie z. B. das Collectiv und das Ocular, bilden die Fehler der Centrirung den maassbestimmenden Factor und können daher in der angegebenen Weise bestimmt werden. Beim Ocular sind jedoch wirklich störende Fehler ziemlich leicht zu vermeiden, so dass eine Prüfung hier weniger nothwendig erscheint.

VI.

Bestimmung des Oeffnungswinkels.

Obschon der Oeffnungswinkel an und für sich, wie oben gezeigt 142
wurde, nicht die Bedeutung hat, die man ihm gewöhnlich zuschreibt, so bleibt er doch immer ein Factor, den man kennen muss, wäre es auch nur, um die Beleuchtung darnach einzurichten. Die Bestimmung desselben kann in sehr verschiedener Weise geschehen; doch laufen im Grunde alle Methoden, welche die Mikrographen in Vorschlag gebracht haben, auf das Nämliche hinaus. Sie können auch unmöglich eine andere Basis haben, als die leicht zu übersehenden Erscheinungen, die mit dem bekannten Strahlengang im Mikroskop in Beziehung stehen. Daher genügt denn auch eine einzige schematische Darstellung, die verschiedensten Prüfungsmethoden zu begründen und zu veranschaulichen.



Figur 93.

Es seien A, B und C (Fig. 93) die drei Hauptebenenpaare des Objectivs, des Collectivs und des Oculars, F und F' die zu A gehöri-

gen Brennebenen und p das Centrum des Gesichtsfeldes. Ist alsdann mpn der Oeffnungswinkel des Objectivs, so ist natürlich ein Beleuchtungskegel von gleicher Oeffnung nöthig, um denselben auszufüllen; aber es ist ebenso klar, dass auch ein beliebiger kleiner Theil desselben für sich allein das Flächenelement p nach Maassgabe seiner Intensität erhellt. Wenn also eine Lichtquelle von geringer Ausdehnung, sei es nun eine vom Spiegel beleuchtete Blendung, oder der Beleuchtungsspiegel selbst, oder eine in einiger Entfernung aufgestellte Lampenflamme etc., in der Richtung von a nach b oder umgekehrt von b nach a bewegt wird, so erscheint das Object p so lange erhellt, als die gedachte Lichtquelle sich ganz oder doch zum Theil innerhalb des vom Winkel $apb = mpn$ begrenzten Raumes befindet. Sowie sie diesen Raum verlässt, gelangen die nach p zielenden Lichtstrahlen entweder nicht mehr zum Objectiv, oder sie werden durch letzteres so gebrochen, dass sie das Ocular nicht erreichen; das Gesichtsfeld muss sich folglich verdunkeln. (In der Figur ist dieser Fall durch die punctirte Linie xm angedeutet.) Dasselbe Resultat müsste auch eintreten, wenn eine in den vollen Beleuchtungskegel eingetauchte kreisförmige Blendung D dem Object p so lange genähert würde, bis ihre Ränder die Oberfläche des Kegels berühren.

Zwischen dem Collectiv und dem Ocular kommt das reelle Bild p' zu Stande. Von hier aus divergiren die Strahlen wieder und werden von der Ocularlinse so gebrochen, dass sie von einem Puncte der optischen Axe zu kommen scheinen, welcher um die Weite des deutlichen Sehens vom Auge absteht. Ist das letztere auf unendliche Entfernung eingestellt, so verlaufen sie unter sich und mit der Axe parallel. Wird daher umgekehrt ein parallelstrahliges Bündel in der Richtung der Axe auf das Ocular geleitet, so kreuzen sich die Strahlen zunächst in p' und dann in p und divergiren von hier aus nach allen Richtungen zwischen pa und pb. Ein links von p senkrecht zur Axe aufgestellter Schirm wird alsdann in einer Breite beleuchtet, welche bei gegebenem Abstand vom Oeffnungswinkel des Objectivs abhängt. Giebt man demselben die Form eines um p beschriebenen Kreisbogens und theilt ihn in Grade ein, so kann der Oeffnungswinkel direct abgelesen werden.

Wird die in einiger Entfernung angebrachte Lichtquelle a als Object betrachtet, so kommt das Objectivbild derselben etwas hinter F' in a' zu Stande. Von diesem Bilde würde das Collectiv ein zweites in a'' entwerfen; allein die Ocularlinse fängt die Strahlen schon vor ihrer Vereinigung auf, so dass das wirkliche Bild nun in a''' ent-

steht. Bewegt sich jetzt die Lichtquelle von *a* nach *b*, so rückt auch das Bildchen von a''' nach b'''; es verschwindet aber sogleich, sowie die Grenzlinie *bp* oder die gegenüberliegende *ap* überschritten wird. Die Verkleinerung des Bildchens lässt sich für bekannte Abstände und Brennweiten leicht berechnen. Ist z. B. der Abstand der Lichtquelle vom Objectiv = $1^{m.}$, die Brennweite des letzteren, des Collectivs und des Oculars beziehungsweise 5, 50 und $25^{m.m.}$ und die Länge des Oculareinsatzes $50^{m.m.}$, so erhält man bei einer gewöhnlichen Tubuslänge von c. $200^{m.m.}$ eine Verkleinerung von c. 800 Mal.

Auf Grund dieser theoretischen Ableitungen liesse sich nun 143
eine ziemliche Zahl von Prüfungsmethoden und Modificationen derselben anführen, welche in mehr oder weniger einfacher Weise zum Ziele führen. Es mag indess genügen, wenn wir hier nur die einfachsten und zweckdienlichsten noch besonders besprechen.

1) Die Methode von Lister. Das Mikroskop wird horizontal gestellt und eine in einiger Entfernung vom Objectiv (im dunkeln oder halbdunkeln Zimmer) aufgestellte Kerzenflamme als Lichtquelle benutzt. Dieselbe wird hierauf so weit nach rechts und nach links von der Verlängerung der optischen Axe entfernt, bis nur noch das halbe Gesichtsfeld erleuchtet erscheint. Der Winkel, unter welchem alsdann die extremen Standpuncte der Lichtquelle (*a* und *b* Fig. 93) vom Brennpunct des Objectivs oder, was bei grösseren Abständen auf dasselbe herauskommt, vom vorderen Ende der Mikroskopröhre aus gesehen werden, ist der gesuchte Oeffnungswinkel. Man hat also nur nöthig, das Mikroskop auf eine passende Unterlage zu bringen, das Lineal anzusetzen, nach den beiden extremen Standpuncten Linien zu ziehen und den erhaltenen Winkel mit dem Transporteur zu messen.

Noch einfacher ist das Verfahren, wenn man die Lichtquelle unbeweglich stehen lässt und dafür die Mikroskopröhre um eine senkrechte, durch den Brennpunct gehende Axe dreht, so dass das Ocularende einen horizontalen Bogen beschreibt. Es liegt auf der Hand, dass das Resultat genau dasselbe sein muss, wie im vorhergehenden Falle. Man braucht also nur die Drehung nach beiden Seiten hin so lange fortzusetzen, bis das Gesichtsfeld sich zur Hälfte verdunkelt, und in diesen extremen Lagen Linien parallel mit der Axe des Mikroskops zu ziehen, die man nachher bis zu ihrem Kreuzungspunct verlängert. Der Winkel, den dieselben bilden, ist dem Oeffnungswinkel gleich und kann mit dem Transporteur direct gemessen werden. Es versteht sich übrigens von selbst, dass das Resultat annähernd

dasselbe bleibt, wenn die Drehung nicht gerade um den Brennpunct, sondern einfach um das vordere Ende des Mikroskops geschieht.

Wer zu solchen Messungen eine besondere mechanische Vorrichtung wünscht, der mag sich eine solche nach der Angabe Goring's construiren lassen. Der Goring'sche Apparat besteht im Wesentlichen aus einer messingenen Platte, auf welcher das Mikroskop mittelst zweier Stützen befestigt und welche selbst wieder auf einer andern mit Gradeintheilung versehenen Platte drehbar ist, und zwar um eine Spindel, in deren Verlängerung sich eine feine Nadel befindet, auf welche das Mikroskop eingestellt wird. Eine genauere Beschreibung mit Abbildung giebt Mohl in seiner Mikrographie S. 193.

2) Die Methode von Wenham. Das Mikroskop wird, wie im vorhergehenden Falle, horizontal gestellt und nach einer entfernten Lichtquelle, z. B. nach der Flamme einer Lampe, gerichtet. Statt aber in gewohnter Weise das Gesichtsfeld zu beobachten, sieht das mit einer Loupe bewaffnete Auge nach dem Flammenbildchen über dem Ocular (a''' und b''' Fig. 93). Die Mikroskopröhre wird dann wieder in einer horizontalen Ebene nach rechts und nach links gedreht, bis ein bestimmter Punct des Bildchens, z. B. die Mitte desselben, eben verschwindet. Der Bogen, welchen das Mikroskop während dieser Bewegung durchläuft, darf auch hier als dem Oeffnungswinkel des Objectivs entsprechend betrachtet werden*).

Dieses Verfahren hat unstreitig den grossen Vorzug, dass sich dadurch nicht bloss die Oeffnung des Objectivs, soweit sie überhaupt Licht durchlässt, bestimmen lässt, sondern auch der wirklich nutzbare

*) Die Bemerkung Harting's (Mikr. p. 263), dass diese Methode nicht ganz gleiche Resultate liefern könne, wie jene von Lister, weil durch das Hinzufügen einer Loupe der Hauptbrennpunct verschoben werde, ist jedenfalls unrichtig motivirt. Es ist im Gegentheil völlig gleichgültig, ob man die Flammenbildchen a''' und b''' mit blossem Auge, mit einer Loupe oder mit einem zweiten Mikroskop betrachte. Ihr Verschwinden ist von dem hinzukommenden Linsensystem in keiner Weise abhängig. Eine kleine Differenz besteht aber desswegen doch, nur ist die Ursache eine ganz andere. Bei der Lister'schen Methode werden nämlich die Strahlenbündel in den Grenzlagen des Mikroskops so gebrochen, dass sie in p' die Axe schneiden, weil nur unter dieser Bedingung die Mitte des Gesichtsfeldes eben noch erleuchtet erscheint. Bei der Wenham'schen Methode dagegen genügt es, dass die Strahlenbündel nach der Brechung im Objectiv das Collectiv erreichen, eine Bedingung, die selbst dann noch erfüllt wird, wenn sie auf ihrem Wege dahin sich etwas von der Axe entfernen. Der Oeffnungswinkel erhält dadurch denselben Werth, ja sogar noch einen etwas grösseren, wie wenn der einfallende Lichtkegel vom Brennpunct des Objectivs ausginge.

Theil derselben, d. h. der Theil, welcher scharfe, aberrationsfreie Bilder liefert. Man beobachtet nämlich oft, dass die Flammenbildchen vor ihrem Verschwinden undeutlich, nebelartig und verzerrt erscheinen, während sie sonst sehr scharf begrenzt und in ihrer wahren Gestalt sich darstellen. Offenbar können diese undeutlichen und verbogenen Bilder nur von Randstrahlen herrühren, für welche das Objectiv nicht mehr gehörig corrigirt ist, und welche daher besser abgeschnitten würden. Der wirklich nutzbare Oeffnungswinkel ist demnach durch die Grenzen bestimmt, innerhalb welcher die Flamme scharf und rein erscheint.

3) Die Robinson'sche Methode. Ein Bündel paralleler Strahlen wird in der Richtung der Axe auf das Ocular geleitet und nach erfolgter Kreuzung der Strahlen im Brennpuncte des Mikroskops mit einem Schirme aufgefangen. Aus dem Durchmesser d des Lichtkreises, welcher hier zu Stande kommt, und der Entfernung l des Schirmes vom Brennpunct des Mikroskops (resp. dem vorderen Ende desselben, wenn der Abstand verhältnissmässig gross ist) erhält man alsdann den Oeffnungswinkel w nach der Formel

$$\operatorname{tang} \frac{w}{2} = \frac{d}{2l} .$$

Die Bestimmung desselben kann übrigens mit hinreichender Genauigkeit auch durch Construction geschehen.

Welche von den genannten Methoden man übrigens auch an- 144
wenden mag, die Bestimmung ist doch immer nur annähernd genau, und zwar erreicht der mögliche Fehler bei stärkeren Vergrösserungen wenigstens 2 Grad. Es rührt diess daher, dass Licht und Schatten im Gesichtsfelde oder auf dem erhellten Schirm wegen der mancherlei Verluste, welche die Randstrahlen erleiden, nicht scharf begrenzt erscheinen, vielmehr allmählich in einander übergehen, so dass also die Grenzpuncte, auf welche es ankommt, immer etwas willkürlich gewählt werden müssen. Dieser Uebelstand hat indessen so gut wie keine praktische Bedeutung, da es vollkommen gleichgültig ist, ob der Oeffnungswinkel eines Mikroskops beispielsweise 70 oder nur 68 Grad betrage. Es ist geradezu lächerlich, wie Harting mit Recht bemerkt, wenn man bei stärkeren Objectiven, wie es Manche gethan haben, die Grösse des Oeffnungswinkels bis auf Bruchtheile eines Grades angiebt. Und ebenso lächerlich und unpraktisch ist es, Objective mit Oeffnungswinkeln bis zu 160° und darüber herzustellen, wenn hievon wenigstens 40—50° auf einen total unbrauchbaren

peripherischen Theil des Systems fallen, wie diess bei manchen englischen Systemen wirklich vorkommt.

Schliesslich wollen wir noch bemerken, dass bei solchen Objectiven, welche zum Zwecke der Immersion in Wasser, oder um der verschiedenen Dicke der Deckgläsehen Rechnung zu tragen, mit Correctionsapparaten versehen sind, der Oeffnungswinkel sich nothwendiger Weise verändert, wenn der Abstand der untersten Linse von der nächstfolgenden grösser oder kleiner gemacht wird, weil in Folge dessen auch die Brennweite des ganzen Systems eine Veränderung erleidet. Dagegen ist der Einfluss, welchen die Ocularvergrösserung auf den Oeffnungswinkel ausübt, keineswegs so erheblich, wie man nach der Darstellung Harting's glauben möchte. Die Vergrösserung an und für sich kommt eigentlich gar nicht in Betracht, sondern einzig und allein der Umstand, dass bei kürzeren Ocularen der Abstand des Collectivs vom Objectiv etwas grösser ist, was in der Regel auch eine geringe Vergrösserung der hinteren Vereinigungsweite des letzteren und somit eine Verkleinerung des Objectabstandes nöthig macht. Man begreift, dass in Folge dessen der Oeffnungswinkel etwas zunimmt; allein es ist ebenso klar, dass die Brechungen, welche nach dem Zustandekommen des reellen Bildes noch stattfinden, eine weitere Zu- oder Abnahme nicht bedingen, da der Strahlengang im Objectiv hievon ganz unabhängig ist. Bei gegebener Lage des Objectivbildes ist es demnach völlig gleichgültig, ob die Ocularlinse 5 oder 50 Mal vergrössere.

VII.

Bestimmung der Vergrösserung und der Brennweite.

145 Man ist gewohnt, die Stärke eines Mikroskops nach der Gesammtvergrösserung, diejenige der Objective dagegen nach ihren Brennweiten zu beurtheilen. So wenig nun auch die erstere einen sicheren Anhaltspunct bietet, da sie durch Factoren von sehr ungleichem Werthe bestimmt wird, so ist doch die Kenntniss derselben schon aus praktischen Rücksichten unerlässlich. Andererseits steht die Brennweite annähernd in umgekehrtem Verhältniss zur Objectivvergrösserung; sie ist gewissermaassen als ein von der Tubuslänge unabhängiger Ausdruck derselben zu betrachten und bildet daher bei der Vergleichung verschiedener Objective den hiezu erforderlichen Maassstab. Die Bestimmung der Brennweite sowohl, als der Gesammt-

vergrösserung, gehört daher mit zur vollständigen Prüfung eines Mikroskops.

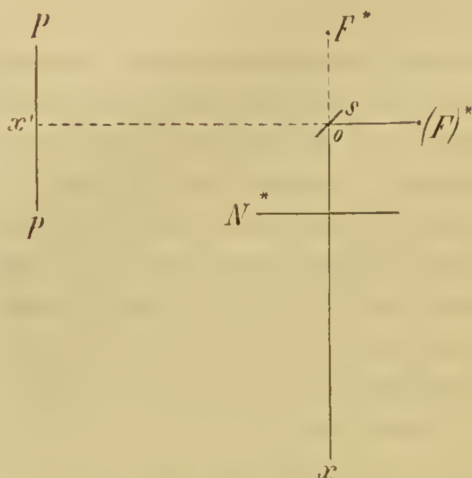
1. Die Vergrösserung.

Es wurde früher gezeigt, dass die Vergrösserungsziffer m zum 146 Abstande des virtuellen Bildes vom zweiten Brennpunct oder, was nahezu auf das Nämliche herauskommt, vom Augenpunct des Mikroskops in proportionalem Verhältniss steht, so dass also einem doppelten Abstand eine doppelte Vergrösserung entspricht. Sollen daher die Vergrösserungsziffern unter sich vergleichbar sein, so müssen sie sich folgerichtig auf gleiche Abstände beziehen. Wie gross übrigens diese letzteren gewählt werden, ist für die Vergleichung vollkommen gleichgültig; es hätte jedoch keinen Sinn, die Wahl so zu treffen, dass damit die Grenzen der wirklich vorkommenden Fälle überschritten würden. In neuerer Zeit ist man so ziemlich allgemein übereingekommen, die Vergrösserungen für eine Entfernung von 25 Centimeter zu berechnen.

Die sogenannte »Krümmung des Gesichtsfeldes« bringt es mit sich, dass die Vergrösserung der Randpartieen gewöhnlich etwas stärker ist, als die der centralen. Aus diesem Grunde ist eine genaue Bestimmung der Vergrösserungsziffer nur für einen verhältnissmässig kleinen Theil des Gesichtsfeldes möglich; sie wird auch aus bekannten praktischen Rücksichten in der Regel nur für die Mitte, mit Weglassung einer ziemlich breiten peripherischen Zone, ausgeführt.

Was nun die Methoden betrifft, deren man sich zur Bestimmung 147 der Vergrösserungsziffer bedient, so laufen sie alle darauf hinaus, das Bild eines Objectes von bekannter Grösse auf die conventionelle Entfernung von 25 Centimeter zu projiciren und den direct gemessenen Durchmesser desselben mit dem des bildliefernden Objects zu vergleichen. Die Projection geschieht mit Hülfe eines Sömmerring'schen Spiegelchens oder eines reflectirenden Prisma's, wobei die spiegelnde Fläche, wenn das Verfahren ganz genau sein soll, eine solche Lage haben muss, dass der zweite Brennpunct des Mikroskops mit dem Kreuzungspunct der Strahlen im beobachtenden Auge zusammenfällt. Ist N^* (Fig. 94) die letzte brechende Fläche (die ebene Fläche der Ocularlinse), F^* der zweite Brennpunct und s eine unter 45° geneigte reflectirende Fläche, so wird dadurch der Strahlenverlauf so verändert, als ob die optische Axe (ox) des Systems horizontal und der Brennpunct nach $(F)^*$ verlegt wäre. In diesem letzteren Punct muss sich also das Auge befinden, wenn die Resultate der Messungen genau

und unter sich vergleichbar sein sollen. Seine Lage entspricht sehr annähernd der Stelle, an welcher die austretenden Strahlenbündel auf einem senkrecht zur Axe gestellten Schirme (von mattem oder angehauchtem Glas) den kleinsten Lichtkreis bilden. Es versteht sich überdiess von selbst, dass die Ebene, auf welche das Bild projicirt wird (*PP* Fig. 94), mit der durch die Reflexion bestimmten Richtung der optischen Axe (*ox'*) einen rechten Winkel bilden muss.



Figur 94.

Bei der Wahl des Objects ist darauf zu achten, dass die Ränder desselben oder überhaupt die Puncte, deren Entfernung gemessen werden soll, auch im Bilde deutlich gesehen werden. Wo eine mikrometrische Theilung auf Glas dieser Bedingung Genüge leistet, mag dieselbe mit Vortheil angewendet werden; wo dagegen die Striche verwischt erscheinen, was bei stärkeren Vergrösserungen gewöhnlich der Fall ist, leisten beliebige andere Objecte mit scharfen Rändern, wie z. B. Luftblasen, Quecksilberkügelchen, Krystalle etc., deren Durchmesser mikrometrisch bestimmt wird, bessere Dienste. Die Genauigkeit der Bestimmung hängt übrigens in beiden Fällen von der Genauigkeit der mikrometrischen Theilung ab.

Die Messung des virtuellen Bildes auf der Projectionsebene geschieht am besten mittelst eines Zirkels, dessen Oeffnung nachher auf einer hinreichend feinen Scala ermittelt wird. Man kann auch die Begrenzungslinien mit der feinen Spitze eines Bleistifts wiederholt auf die Projectionsebene zeichnen und den mittleren Werth der aufgezeichneten Maasse als Durchmesser des virtuellen Bildes in Rechnung bringen. Beträgt dieser Durchmesser beispielsweise 26,5 m.m., derjenige des Objectes 100 Mik. = 0,1 m.m., so ist die Vergrösserungszahl $m = 265$.

148 Wo es auf eine genaue Bestimmung der Vergrösserungsziffer ankommt, muss natürlich allen Bedingungen, welche die Theorie vorschreibt, möglichst Genüge geleistet werden. Es ist in diesem Falle sogar wünschenswerth, die Grösse des Objects auf eine zuverlässigere Weise bestimmen zu können, als diess mit Hülfe der nicht immer

genauen mikrometrischen Theilungen möglich ist. Zur Erreichung dieses Zweckes macht Harting den Vorschlag, einen dünnen Metalldraht einige hundert Male um einen dickeren Draht zu winden, dergestalt, dass jede Windung genau an der vorhergehenden anliegt, wovon man sich mittelst des Mikroskops überzeugen muss. Man misst dann genau, welche Strecke die sämmtlichen Windungen auf dem dickeren Draht einnehmen und zählt endlich die Anzahl der Windungen, am besten durch Abwickeln auf der Drehbank. Die Gesammtlänge der Windungen, dividirt durch die Anzahl derselben, giebt alsdann die Dicke des Drahtes mit einer Genauigkeit, die bei mikrometrischen Messungen nicht erreichbar ist. Ein solcher Draht kann entweder unmittelbar als Object oder auch zur Bestimmung der wirklichen Länge der mikrometrischen Theilungen benutzt werden.

In den meisten praktischen Fällen ist indess eine so grosse Vorsicht ganz und gar überflüssig. Es ist vollkommen gleichgültig, ob die Vergrösserungsziffer um einige Einheiten höher oder niedriger ausfalle, ob sie z. B. zu 360 oder zu 355 angenommen werde, da die Objecte, um deren Messung und Darstellung es sich handelt, hinsichtlich ihrer Grösse durchweg um mehr als soviel differiren. Man braucht sich also um den zweiten Brennpunct des Mikroskops, die Lage des Auges, die Genauigkeit der Mikrometertheilung etc. keineswegs ängstlich zu bekümmern; es genügt, die Sehweite von der Mitte des Oculars an zu messen und die gewöhnliche Sorgfalt auf die Bestimmung der Grössenverhältnisse zu verwenden, um ein hinlänglich genaues Resultat zu erzielen.

Die Vergrösserungen, welche man durch Combination verschie- 149
dener Objective mit dem nämlichen Ocular erhält, verhalten sich natürlich wie die linearen Dimensionen der reellen Objectivbilder. Deckt z. B. das Bild eines Objectivs 10 Theilstriche eines im Ocular befindlichen Mikrometers und das eines andern Objectivs 15 Theilstriche, so verhalten sich die Vergrösserungsziffern wie 10 zu 15. Wird umgekehrt eine Mikrometertheilung als Object benutzt, so ist die Zahl der Theilstriche, welche innerhalb eines gegebenen Rahmens (z. B. des durch ein enge Blendung verkleinerten Gesichtsfeldes) gesehen werden, um so kleiner, je stärker die Vergrösserung, und zwar ist das Verhältniss abermals ein proportionales. Diese Beziehungen geben uns ein Mittel an die Hand, die Vergrösserungswerthe für verschiedene Objectivsysteme in Verbindung mit dem nämlichen Ocular durch Rechnung zu bestimmen, wenn dieser Werth für ein einziges derselben bekannt ist. Ist z. B. die Zahl der Theilstriche eines Object-

mikrometers, welche im Durchmesser des verkleinerten Gesichtsfeldes bei vier verschiedenen Objectiven gesehen werden, beziehungsweise 60, 45, 20, 12, und die mit dem ersten erzielte Gesammtvergrösserung $m = 50$, so beträgt dieselbe für die übrigen drei Objective $\frac{60}{45}$, $\frac{60}{20}$ und $\frac{60}{12}$ mal 50, also $66\frac{2}{3}$, 150 und 250.

150 Es ist in manchen Fällen vortheilhaft, nicht bloss die Vergrösserungszahl, sondern auch den wahren Durchmesser des ganzen Gesichtsfeldes zu kennen. Die Bestimmung desselben geschieht einfach dadurch, dass man den scheinbaren Durchmesser in der Entfernung der Sehweite auf der Projectionsebene misst und den gefundenen Werth durch die Vergrösserung dividirt. Die Messung kann übrigens auch direct mit Hülfe einer Mikrometertheilung, welche die ganze Blendungsöffnung im Ocular ausfüllt oder doch seitlich verschiebbar ist, vollzogen werden.

Ebenso kann es zuweilen zweckdienlich sein, die Objectivvergrösserungen für sich allein zu ermitteln. Auch diess geschieht am einfachsten mittelst eines Ocularmikrometers, indem man dasselbe nach Wegnahme des Collectivs so weit hineinschiebt, bis das gegebene Objectivbild scharf gesehen wird. Da nämlich die Theilstriche des Mikrometers um eine bekannte Grösse, und zwar gewöhnlich um 0,1 m.m. von einander abstehen, so kann damit auch der Durchmesser des reellen Bildes gemessen werden. Das Verhältniss des letzteren zum Durchmesser des Objects giebt aber offenbar die Objectivvergrösserung.

2. Die Brennweite.

151 Bei der Bestimmung der Brennweite kommt vor Allem die Frage in Betracht, in welcher Weise die bekannten mathematischen Formeln, wie sie in der Einleitung mitgetheilt wurden, zu verwerthen seien, um zu einem möglichst genauen Resultat zu gelangen. Da die Hauptpuncte des Objectivsystems unbekannt sind, so kann natürlich von einer directen Messung der Brennweite oder der conjungirten Vereinigungsweiten keine Rede sein. Die Formel $\frac{1}{p} + \frac{1}{p^*} = \frac{1}{f}$, in welcher p und p^* die conjungirten Vereinigungsweiten und f die Brennweite bezeichnet, findet daher nicht unmittelbar Anwendung. Was als gegeben betrachtet werden kann, ist nur das Grössenverhältniss zwischen Bild und Object, sowie ferner die eine der beiden Vereinigungsweiten, insofern dieselbe so gross gewählt wird, dass eine nur annähernd genaue Messung vollkommen genügt. Aus diesen

Daten lässt sich indess die Brennweite sehr leicht berechnen. Es seien D und d, wobei $D > d$, die Durchmesser des Bildes und des Objectes oder umgekehrt, und p^* die grössere der beiden Vereinigungsweiten; dann erhält man aus der Proportion $D : d = p^* : p$ und der oben citirten Gleichung $\frac{1}{p} + \frac{1}{p^*} = \frac{1}{f}$ die Beziehung $\frac{1}{f} = \frac{1}{p^*} \cdot \frac{D+d}{d}$ und hieraus die einfache Formel

$$f = p^* \cdot \frac{d}{D+d}$$

oder, wenn d gegen D verschwindend klein ist

$$f = p^* \frac{d}{D} .$$

Die Bestimmung von p^*, d und D kann nun in folgender Weise geschehen.

1) Ein passendes Object von bekannter Grösse, wie z. B. eine Mikrometertheilung oder eine Luftblase, deren Diameter durch Messung zu bestimmen ist, wird in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht und hierauf das zu Stande kommende Objectivbild auf einem Schirme von mattem Glas, welcher nach Wegnahme des Oculars auf die Mikroskopröhre gelegt wird, aufgefangen. Hat man die richtige Einstellung gefunden, bei welcher das Bild scharf abgegrenzt erscheint, so kann seine Grösse mittelst eines Zirkels mit hinreichender Genauigkeit gemessen werden. Noch genauer fällt die Messung aus, wenn man das Objectivbild durch ein mit einem Mikrometer versehenes Ocular, von dem das Collectiv losgeschraubt wurde*), beobachtet. Da nämlich die Theilstriche der Ocularmikrometer, wie bereits bemerkt, um eine bekannte Grösse, und zwar gewöhnlich um 0,1 m.m. von einander abstehen, so kann der Durchmesser des reellen Bildes auf diesem Wege sehr leicht bis zu einem kleinen Bruchtheil eines Millimeters genau bestimmt werden. Endlich misst man den Abstand p^* der Projectionsebene vom Objectiv (eigentlich vom zweiten Hauptpunct desselben) mit Hülfe eines Zirkels oder Maassstabs, wobei ein kleiner Fehler von 2—3 m.m. nicht in Betracht kommt.

Ist z. B. $d = 100$ Mik. $= 0,1$ m.m., $D = 7,8$ m.m. und $p^* = 210$, so wird $\frac{d}{D} = \frac{1}{79}$ und folglich $f = \frac{210}{79} = 2,658$. Wird p^* zu 207 angenommen, so fällt dieser Werth auf 2,620 herunter, differirt also bloss um 0,038 oder ungefähr $\frac{1}{26}$ eines Millimeters.

---

*) Wir setzen auch hier ein gewöhnliches Campani'sches Ocular voraus. Bei einem Ramsden'schen Ocular braucht natürlich die untere Linse nicht losgeschraubt zu werden.

2) Das zu prüfende Objectiv wird dergestalt auf den Objectträger gelegt, dass die ebene Vorderfläche nach oben gekehrt ist, und hierauf in einer Entfernung von 0,2—1 Meter und darüber ein geeignetes Object, z. B. eine über der Kerzenflamme geschwärzte Glasplatte, auf dem Arbeitstische oder am Fenster befestigt. Man dreht nun den Beleuchtungsspiegel, der zu diesem Zweck eben sein muss, so, dass das Spiegelbild des Objectes in die optische Axe des zu prüfenden Objectivs fällt und folglich über der Brennebene des letzteren ein kleines dioptrisches Bildchen erzeugt, dessen Diameter durch directe Messung bei geeigneter Vergrösserung bestimmt wird. Die Grössen D und d sind jetzt bekannt; der Abstand p^* wird mit dem Maassstab gemessen, wobei die Entfernungen vom Object bis zum Spiegel und von da bis zum Objectiv zu addiren sind. Nöthigenfalls kann dem Mikroskop eine horizontale Stellung gegeben und der Tubus direct nach dem Object gerichtet werden.

152 Hat man die Brennweite eines Objectivs genau bestimmt, so kann die eines anderen auf einfacherem Wege durch Vergleichung ermittelt werden. Aus der Formel für die Vergrösserung $m = 1 - \frac{p^*}{f}$ erhält man nämlich $f = -\frac{p^*}{m-1}$ oder, wenn m als positiv betrachtet wird $f = \frac{p^*}{m+1}$, d. h. die Brennweiten verhalten sich umgekehrt wie die um 1 vermehrten Objectivvergrösserungen. Da die letzteren sich ihrerseits wie die Lineardimensionen verhalten, welche die Bilder eines gegebenen Objectes auf dem Ocularmikrometer ausfüllen, so braucht man also bloss die Theilstriche von einem Rand bis zum andern abzuzählen, um das Verhältniss der bekannten Brennweite zu einer oder mehreren unbekannten zu bestimmen und hieraus diese letzteren zu berechnen.

In gleicher Weise, wie die Brennweite der Objectivsysteme, kann natürlich auch diejenige einzelner Linsen bestimmt werden. Wo indess die Krümmungen sehr schwach sind und die Brennweiten beispielsweise mehrere Centimeter betragen, da ist es für die meisten praktischen Zwecke genügend, den Abstand des Sonnenbildchens von der Linse zu messen oder überhaupt eines der einfachen Verfahren anzuwenden, welche in den physikalischen Lehrbüchern mitgetheilt werden.

VIII.

Bestimmung der Cardinalpuncte.

Man kann sich endlich noch die Aufgabe stellen, ein gegebenes 153
Objectiv auch mit Rücksicht auf die Lage der Cardinalpuncte der einzelnen Doppellinsen sowohl, als des ganzen Systems kennen zu lernen, d. h. die Abstände der Haupt- und Brennebenen unter sich und von den brechenden Flächen auf empirischem Wege in analoger Weise zu ermitteln, wie wir diess oben unter bestimmten Voraussetzungen durch die Rechnung gethan haben. Um diese Aufgabe mit annähernder Genauigkeit zu lösen, kann man folgendes Verfahren einschlagen.

1) Man bestimmt die Brennweiten der einzelnen Doppellinsen, dann der beiden hinteren zum System verbundenen Linsen, endlich diejenige des ganzen Objectivs. Zur Erzielung grösserer Genauigkeit ist bei stärkeren Linsen eine wiederholte Messung nach dieser oder jener Methode rathsam.

2) Man bestimmt die Abstände des ersten und zweiten Brennpunctes von der Vorder- und Hinterfläche der Doppellinse oder des Systems. Zu diesem Behufe legt man dieselben dergestalt auf den Objectträger, dass die betreffende Fläche nach oben gekehrt ist, und dreht nun den Planspiegel des Mikroskops so, dass im Brennpunct der Linsencombination das Bild eines entfernten Gegenstandes (z. B. eines Baumes oder einer Wolke etc.) sichtbar wird. Ist das Mikroskop möglichst scharf eingestellt, so ritzt man am oberen oder unteren Rande der Hülse, in welcher die Mikroskopröhre verschiebbar ist, eine feine Linie in die letztere ein und senkt hierauf den Focus des Instruments, bis die nach oben gekehrte Fläche des zu untersuchenden Systems (die man zu diesem Zwecke mit dem Finger betupft oder irgendwie verunreinigt) im Gesichtsfelde erscheint. Diese Stellung der Mikroskopröhre wird in gleicher Weise durch Einritzen einer feinen Linie bezeichnet. Der Abstand der beiden Linien, welcher offenbar der gesuchten Grösse gleich ist, kann nun entweder mit dem Zirkel oder, wenn er sehr klein ist, mit Hülfe eines zweiten Mikroskops bei schwacher Vergrösserung mikrometrisch bestimmt werden.

3) Man misst die Dicke der Doppellinsen oder des Systems, d. h. den Abstand der ersten und letzten brechenden Fläche. Da die Vorderflächen der Doppellinsen mit dem Rande der Fassungen meist ziemlich genau in derselben Ebene liegen, so geschieht die Messung

am einfachsten in der eben beschriebenen Weise, indem man die Linse mit ihrer Vorderfläche auf den Objectträger legt und das Mikroskop nach einander auf diesen und auf die hintere gewölbte Fläche der Linse einstellt. Wo die Fassung um eine nicht zu vernachlässigende Grösse vorsteht, wird dieselbe nachträglich besonders bestimmt und abgezogen.

Aus den Daten, welche diese Messungen liefern, lässt sich die Lage der Haupt- und Brennebenen durch einfache Addition und Subtraction berechnen. Bezeichnen wir mit $N_0\ N_1\ N_2\ N_3\ N_4\ N_5$ die auf einander folgenden Grenzflächen der drei Doppellinsen, mit φ_0 φ_1 und φ_2 ihre Brennweiten und mit $e^0 i^0$, $e' i'$, $e'' i''$ ihre Hauptebenenpaare, ferner mit (f) die Brennweite der beiden hinteren zum System verbundenen Linsen und mit $(E)\ (E)^*\ (F)\ (F)^*$ die Haupt- und Brennebenen dieses Systems, desgleichen mit f die Brennweite des ganzen Objectivs und mit $EE^*\ FF^*$ dessen Haupt- und Brennebenen, endlich mit d_1 und d_2 bei jeder beliebigen Combination den Abstand des entsprechenden Brennpunctes von der Vorder- und Hinterfläche; dann sind die Abscissen der verschiedenen Hauptebenen, von vorn nach hinten gerechnet, durch die Gleichungen gegeben:

$$
\begin{aligned}
e^0 &= N_0 + \varphi_0 - d_1\,; & i^0 &= N_1 + d_2 - \varphi_0 \\
e' &= N_2 + \varphi_1 - d_1\,; & i' &= N_3 + d_2 - \varphi_1 \\
e'' &= N_4 + \varphi_2 - d_1\,; & i'' &= N_5 + d_2 - \varphi_2 \\
(E) &= N_2 + (f) - d_1\,; & (E)^* &= N_5 + d_2 - (f) \\
E &= N_0 + f - d_1\,; & E^* &= N_5 + d_2 - f
\end{aligned}
$$

und ebenso erhält man

$$
\begin{aligned}
E^* - E &= N_5 - N_0 + d_2 + d_1 - 2f \\
N_0 - F &= f - (E - N_0)
\end{aligned}
$$

Zur Controle dienen die Eingangs festgestellten Beziehungen zwischen den Cardinalpuncten zweier zu combinirender Systeme und denjenigen des resultirenden Systems. Man erhält durch leicht zu übersehende Substitutionen und Umsetzungen

$$
(f) = \frac{\varphi_1 \varphi_2}{\varphi_1 + \varphi_2 - (t)}\,, \quad \text{wobei}
$$

$$
(t) = e'' - i' = \varphi_1 + \varphi_2 - \frac{\varphi_1 \varphi_2}{(f)}
$$

und ebenso für das ganze Objectivsystem

$$
f = \frac{\varphi_0 (f)}{\varphi_0 + (f) - t}\,, \quad \text{wobei}
$$

$$
t = (E) - i^0 = \varphi_0 + (f) - \frac{\varphi_0 (f)}{f}\,.
$$

Die Grössen $N_0 - F$ und $E^* - E$ sind durch die Gleichungen bestimmt:

$$e^0 - F = f\left[1 - \frac{t}{(f)}\right]$$
$$E^* - E = \left[(E)^* - e^0\right] - ft\left[\frac{1}{\varphi_0} + \frac{1}{(f)}\right]$$

welche, wenn man die entsprechenden Werthe substituirt, ganz allgemein für zwei beliebige Systeme von Cardinalpuncten Geltung haben.

Als Beispiel einer in der beschriebenen Weise ausgeführten Be- 154
stimmung der Cardinalpuncte theilen wir nachstehend die numerischen Data mit, die wir für ein Objectiv Nr. 9 von Bénèche erhielten. Die Brennweiten, Focalabstände und Flächenabstände betrugen in Millimetern:

1) Brennweiten.

$\varphi_0 = 2,6$, $\varphi_1 = 12$, $\varphi_2 = 11,4$
$(f) = 6,24$
$f = 3,15$

2) Focalabstände.

für die 1. Linse	$d_1 = 1,75$;	$d_2 = 2,8$
» » 2. »	$d_1 = 9,5$;	$d_2 = 13,5$
» » 3. »	$d_1 = 9,4$;	$d_2 = 11,4$
» » 2.+3. »	$d_1 = 2,86$;	$d_2 = 5,8$
für das ganze Objectiv	$d_1 = 0,43$;	$d_2 = -1,05$.

3) Flächenabstände.

$N_1 - N_0 = 1,37$; $N_3 - N_2 = 2$; $N_5 - N_4 = 2$;
$N_5 - N_2 = 5,15$; $N_5 - N_0 = 7$, und somit
$N_2 - N_1 = 0,48$; $N_4 - N_3 = 1,15$.

Aus diesen Grössen ergiebt sich zunächst für die Hauptebenen

$e^0 = N_0 + 0,85$; $i^0 = N_1 + 0,1$
$e' = N_2 + 2,5$; $i' = N_3 + 1,5$
$e'' = N_4 \pm 1,9$; $i'' = N_5 + 0$
$(E) = N_2 + 3,38$; $(E)^* = N_5 - 0,44$
$E = N_0 + 2,72$; $E^* = N_0 + 2,8$
$i'' - e' = 2,65$
$(E)^* - e^0 = 5,71$.

Die weiteren Ableitungen sind in folgender Tabelle (Columne »Beob-

achtet«) enthalten und zur Vergleichung mit den nach obigen Formeln berechneten Werthen zusammengestellt*).

	Beobachtet.	Berechnet.
$e'' - i'$	1,55	1,5
$(E) - i^0$	3,76	3,66
$(E)^* - (E)$	1,33	1,05
$N_2 - (F)$	2,86	2,92
$E^* - E$	0,08	0,57
$N_0 - F$	0,43	0,45

Die auffallendste Eigenthümlichkeit des untersuchten Objectivs, die wir hier noch besonders hervorheben, besteht jedenfalls darin, dass die vordere Linse stärker ist, als das ganze System. Die Bedingungsgleichung für diesen Fall ergiebt sich unmittelbar aus der Formel für die Gesammtbrennweite, indem man

$$\varphi_0 \left[\frac{(f)}{\varphi_0 + (f) - t} \right] > \varphi_0$$

setzt und hierauf beiderseits durch φ_0 dividirt. Man erhält

$$t > \varphi_0 .$$

Unter den mittelstarken Systemen, die wir genauer kennen, ist übrigens Nr. 9 von Bénèche das einzige, welches die genannte Eigenthümlichkeit besitzt; die entsprechenden Nummern von Oberhäuser und Plössl theilen sie nicht. Dagegen scheint dieselbe bei schwächeren Objectiven, namentlich wenn diese aus zwei weit von einander abstehenden Doppellinsen zusammengesetzt sind, ziemlich

*) Die Differenzen zwischen den beobachteten und berechneten Werthen in dieser Tabelle dürften zum Theil darin ihre Erklärung finden, dass die Bestimmung von d_2 für die einzelnen Linsen wegen der Undeutlichkeit des Bildes in der entsprechenden Lage nicht mit hinreichender Genauigkeit möglich ist. Dazu kommt aber noch, dass die Annahme einer in beiden Lagen gleichen Brennweite streng genommen nur für Centralstrahlen gerechtfertigt erscheint, für Randstrahlen dagegen unstatthaft wird, weil die Grösse der sphärischen Längenabweichung und damit auch der Abstand des Brennraumes beim Umkehren der Linsen eine kleine Veränderung erfährt. Eine solche Veränderung macht sich sogar bei stärkeren Linsen schon bemerkbar, sobald die conjugirten Vereinigungsweiten in einem wesentlich anderen Verhältniss stehen. Desswegen stimmen z. B. auch die nach verschiedenen Methoden gefundenen Werthe für die Brennweiten nie genau überein.

häufig vorzukommen; wir beobachteten sie z. B. an Nr. 4 von Bénèche und Nr. 4 von Hartnack. Auch beim Immersionssystem Nr. 9 von Hartnack ist die vorderste Linse etwas stärker, als das ganze Objectiv, und es dürfte diess auch bei den stärksten Systemen anderer Optiker, besonders wenn die erste Linse eine einfache Kronglaslinse ist, gerade kein seltener Fall sein.

Zum Schlusse mögen noch einige Beobachtungen über die Lage der Haupt- und Brennebenen in verschiedenen anderen Objectivsystemen Platz finden. Die letzte brechende Fläche ist mit N^* bezeichnet, alle übrigen Grössen wie oben.

	Nr.	f	$N_0 - F$	$N^* - F^*$	$N^* - N_0$	$E^* - E$
Hartnack	7	3,3	0,5	+0,45	7,1	+0,55
» »	9	1,87	0,35	+1,45	5,1	+0,27
Bénèche	4	12,5	3,7	+3,00	16,5	−7,8
» »	7	4,7	1,5	−2,00	7,25	+1,35
» »	11	2,22	0,25	+3,2	5,2	−2,19
Kellner	3	3,87	0,58	0	8,2	+1,04

Vierter Abschnitt.

Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung.

155 Die mikroskopische Wahrnehmung weicht in mancher Beziehung von der gewöhnlichen mit blossem Auge ab. Es erfordert daher eine längere Uebung, um in der Beurtheilung der erhaltenen Lichteindrücke jene Sicherheit zu erlangen, welche allein die Zuverlässigkeit der Beobachtung verbürgt. Durchs Mikroskop zu sehen und nach dem Gesehenen die Form und Beschaffenheit eines Objectes zu bestimmen, ist eine Kunst, die gelernt sein will, so gut wie jede andere.

Als Eigenthümlichkeit des mikroskopischen Sehens kommt zunächst in Betracht, dass das Bild, das wir beobachten, eigentlich nicht dem Gegenstande selbst, sondern nur einer bestimmten Durchschnittsebene desselben entspricht, auf welche gerade eingestellt wird. Was höher oder tiefer liegt, ist für das Auge nur undeutlich oder gar nicht sichtbar. Das Mikroskop giebt uns also nur über die Dimensionsverhältnisse der verschiedenen Durchschnittsebenen directen Aufschluss, nicht aber über deren Entfernung in der Richtung der Mikroskopaxe. Die letztere lässt sich zwar in manchen Fällen approximativ schätzen, es ist z. B. möglich, ohne Weiteres zu entscheiden, ob ein gegebenes Object kugelförmig, flach gedrückt oder seitlich zusammengedrückt sei; allein eine genauere Bestimmung der Formverhältnisse kann nur durch Drehen des Körpers um seine Axe, also durch Combination verschiedener Ansichten erzielt werden.

Nicht so beim gewöhnlichen Sehen. Hier genügt oft ein flüchtiger Blick, uns über die Form und Gruppirung nahe liegender Körper zu unterrichten, weil die Grenzen, zwischen welchen das Auge zu gleicher Zeit deutlich sieht, ziemlich weit auseinander liegen. Wir sehen also die Körper in ihrer stereometrischen Form und in ihren räumlichen Verhältnissen zu benachbarten. Ob wir dabei mit zwei

Augen oder nur mit Einem sehen, wie beim Mikroskopiren, macht keinen wesentlichen Unterschied.

In zweiter Linie ist die Beleuchtung bei der mikroskopischen 156
Wahrnehmung eine ganz andere, als im gewöhnlichen Leben. Durchs Mikroskop sehen wir die Gegenstände in der Regel bei durchfallendem, mit blossem Auge dagegen vermittelst auffallendem oder reflectirtem Licht. Ein beliebiger Punct des mikroskopischen Bildes erscheint daher um so heller, je grösser die Zahl der Lichtstrahlen, welche vor ihrem Eintritt ins Objectiv, rückwärts verlängert, nach dem entsprechenden Punct des Objectes zielen. Bilden diese Strahlen einen vollen Lichtkegel, der mit seiner Basis den optisch wirksamen Theil der Objectiv-Vorderfläche ausfüllt, so erhält der betreffende Punct das Maximum der Helligkeit. Ist dagegen die Kegelbasis nur halb so gross, so erscheint auch der betreffende Punct im Bilde nur halb erleuchtet u. s. f. Das Mikroskop entwirft also gewissermassen ein Schattenbild, in welchem die undurchsichtigen Stellen des Objectes dunkel, die durchsichtigen sich mehr oder weniger hell darstellen, nur dass die Unebenheiten und Dichtigkeitsdifferenzen des Objectes in Folge der Brechung, die sie veranlassen, wesentlich mit zur Lichtvertheilung im Bilde beitragen.

Ganz dasselbe gilt natürlich auch für das Sehen mit blossem Auge, wenn durchscheinende Körper unter denselben Verhältnissen betrachtet werden. Dessenungeachtet ist das Bild, das wir in diesem Falle erhalten, ein wesentlich anderes, als bei der Beobachtung durchs Mikroskop, und es müssen die entgegengesetzten Angaben, die sich hie und da in mikrographischen Werken*) finden, als unrichtig bezeichnet werden. Sie beruhen nämlich auf der stillschweigend gemachten Voraussetzung, dass die ungleich grössere Oeffnung der einfallenden Lichtkegel, welche durch das Mikroskop dem Auge zugelenkt werden, auf den resultirenden Lichteffect keinen Einfluss übe. Nun lässt sich aber durch die mathematische Betrachtung dieser Frage, wie sie im Folgenden für einige Fälle durchgeführt ist, leicht nachweisen, dass die Vertheilung von Licht und Schatten im mikroskopischen Bilde vom Oeffnungswinkel des Instruments abhängig und daher nicht einmal für verschiedene Vergrösserungen, geschweige denn für das unbewaffnete Auge, die nämliche ist.

Es lässt sich also nicht in Abrede stellen, dass man die Dinge durchs Mikroskop wirklich anders sieht, als mit blossem Auge. Der

*) Harting, Das Mikroskop pag. 339.

mikroskopische Beobachter hat es sonach mit Bildern zu thun, die ihm anfänglich neu und ungewohnt sind; er muss sie erst richtig deuten lernen, wie die Zeichen und Wörter einer fremden Sprache. Obschon nun freilich hiezu vor Allem eine praktische Schule nothwendig ist, die sich durch keine Theorie ersetzen lässt, so möchte doch eine theoretische Begründung des mikroskopischen Sehens selbst für den geübten Beobachter nicht ganz überflüssig sein, da sie in manchen Fällen willkommene Anhaltspuncte zu weitern Raisonnements bietet. Aus diesem Grunde haben wir nachstehend eine Reihe von Fällen einer eingehenden Erörterung unterzogen und dieselbe so oft als thunlich auf mathematische Entwicklungen gestützt. In erster Linie sind die Brechungs- und Reflexionserscheinungen, welche das mikroskopische Bild gegebener Objecte bestimmen, ins Auge gefasst. Hieran reihen sich die auf Interferenz beruhenden Lichteffecte, welche gewöhnlich als Beugungserscheinungen gedeutet werden; endlich ist auch der schiefen Beleuchtung und den Bewegungserscheinungen eine kurze Betrachtung gewidmet.

I.

Kugelige und cylindrische Objecte.

1. Luftblasen in Wasser.

157 Es sei *AB* (Fig. 95) der senkrechte Durchschnitt einer in Wasser frei schwimmenden, also kugelförmigen Luftblase, und *MN* die Einstellungsebene des Mikroskops. Alsdann wird ein beliebiger Punct *P* dieser Ebene im mikroskopischen Bild durch diejenigen Strahlen erhellt, welche nach ihrem Durchgang durch die Luftblase von diesem Puncte zu kommen scheinen und durch die Brechung im Mikroskop dem Auge zugeführt werden. Die Neigung dieser Strahlen zur Senkrechten kann selbstverständlich nicht grösser werden als der halbe Oeffnungswinkel des Objectivs. Wird dieser letztere z. B. zu 60^0 angenommen, so erreicht sie ihr Maximum mit 30^0. Ebenso wird die Neigung der von unten kommenden Strahlen, wenn nämlich Spiegel und Lichtquelle eine hinlängliche Ausdehnung haben, durch die Grösse der Blendung bestimmt. Der Winkel, unter welchem die letztere vom Centrum der Luftblase aus gesehen wird, ist der nämliche, den die peripherischen Strahlen des einfallenden Lichtkegels bilden. Beträgt dieser Winkel $= 30^0$, so ist hiemit auch die Grösse des Ab-

lenkungswinkels, welchen die ausfahrenden Strahlen mit den zugehörigen einfallenden bilden, für Randstrahlen wie TS', welche vor und nach der Brechung an der Oberfläche des Lichtkegels liegen, bestimmt.

Zieht man nämlich durch den Kreuzungspunct O des einfallenden und ausfahrenden Strahls das Perpendikel XQ, so hat man, wenn die angenommenen Oeffnungswinkel von 60^0 und 30^0 ganz allgemein ω und δ genannt werden

$$\angle SOT = 180^0 - \angle TOR$$

oder da $\angle TOR = \angle QOR - \angle QOT = \frac{\omega - \delta}{2}$

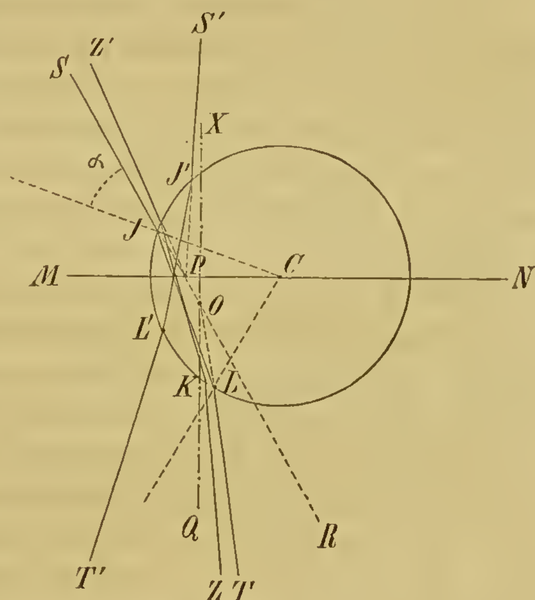
$$\angle SOT = 180^0 - \frac{\omega - \delta}{2}$$, also im gegebenen Falle

$$\angle SOT = 180^0 - 15^0 = 165^0.$$

Da nun ein durch O gezogener Radius diesen Ablenkungswinkel halbirt und die Richtung des Strahls in der Luftblase rechtwinklig kreuzt, so ergiebt sich, wenn man mit α den Einfallswinkel, mit α' den Brechungswinkel und mit ϱ den halben Ablenkungswinkel bezeichnet, die weitere Beziehung

$$\alpha' - \alpha = 90^0 - \varrho = 7\tfrac{1}{2}^0 \cdot$$

Nimmt man den mittleren Brechungscoefficienten des Wassers zu 1,3356 an, so wird dieser Gleichung Genüge geleistet, wenn $\alpha = 20^0\,45'$, indem alsdann $\alpha' = 28^0\,15'$.



Figur 95.

Die Lage des Punctes P ist hierdurch bestimmt; das Dreieck CPJ giebt die Relation

$$CP : r = \sin\alpha : \sin\left[180^0 - \left(90^0 - \frac{\omega}{2}\right)\right]; \text{ folglich}$$

$$CP = r \cdot \frac{\sin\alpha}{\sin\left(90^0 + \frac{\omega}{2}\right)} = \frac{\sin 20^0\,45'}{\sin 60^0} \cdot r = 0{,}64838 \cdot r.$$

Denken wir uns nun einen nahe liegenden zweiten Strahl ZK, welcher weniger gegen die Verticale geneigt ist und nach der Brechung ebenfalls vom Puncte P zu kommen scheint, so ist einleuchtend, dass

derselbe sich mit dem ersten Strahl irgendwo kreuzen muss und daher etwas näher dem Centrum die Objectivlinse trifft. Denn verfolgt man die beiden Strahlen in umgekehrter Richtung von oben nach unten, so rückt ihr Convergenzpunct P in Folge der Brechung an der unendlich klein gedachten Fläche bei J bloss etwas nach links und kommt dabei in ein anderes Niveau zu liegen; eine Kreuzung findet aber unter allen Umständen innerhalb der Luftblase statt. Dasselbe gilt natürlich auch von jedem folgenden Strahl mit Rücksicht auf den vorhergehenden. Je weiter wir also im ausfahrenden Lichtkegel von der Linken zur Rechten fortschreiten, um so mehr rückt der entsprechende einfallende Strahl von der Rechten zur Linken; seine Neigung gegen die Senkrechte wird allmählich kleiner und geht dann in die entgegengesetzte über, deren Maximum ebenfalls 15^0 beträgt.

Es ist von selbst klar, dass dieses Maximum der Abweichung eintreten muss, ehe die ausfahrenden Strahlen auf der rechten Seite den Grenzwerth von 30^0 erreicht haben, da ja die zweimalige Brechung immer eine Ablenkung nach links verursacht. Die Rechnung zeigt, dass im gegebenen Falle der Randstrahl $T' L'$ nach dem Durchgang durch die Luftblase noch um etwas mehr als 18^0 nach links geneigt ist.

158 Diese Erörterungen führen zunächst zu dem Schluss, dass alle in der Ebene des Papiers liegende Strahlen des einfallenden Lichtkegels*) zur Erleuchtung des Punctes P beitragen. Aber auch von den Strahlen, die nicht in diese Ebene fallen, geht keiner verloren. Denn da sie nach der Brechung sämmtlich vom Puncte P zu kommen scheinen und überdiess mit dem nach dem Austrittspuncte gezogenen Radius in derselben Ebene liegen, sonach die Papierebene in der Linie MN schneiden, so wird man alle möglichen Lagen derselben erschöpfen, wenn man alle Strahlen zwischen SJ und $S'J'$ (Fig. 95) unter Beibehaltung des Convergenzpunctes aus der Papierebene heraushebt und sie nach oben und unten so weit divergiren lässt, dass die entsprechenden einfallenden Strahlen den Rand der Blendung streifen. Dass die Neigung der herausgehobenen Strahlen zur Papierebene im gegebenen Falle höchstens 15^0 betragen kann und für die beiden Randstrahlen $= 0$ wird, ist ohne Weiteres klar. Es hält auch nicht schwer, sich davon zu überzeugen, dass unter diesen Umstän-

*) Der Ausdruck Lichtkegel ist für die einfallenden Strahlen nicht streng mathematisch zu verstehen, da dieselben keinen gemeinsamen Convergenzpunct haben.

den sämmtliche ausfahrende Strahlen den wirksamen Theil der Objectivlinse treffen.

Der Punct P erscheint demnach, da der ganze einfallende Lichtkegel zu seinem Bilde beiträgt, ebenso hell, als irgend ein anderer Punct des Gesichtsfeldes. Dasselbe gilt natürlich auch von allen Puncten, welche dem Centrum näher liegen; nur ist für diese die Brechung eine geringere, so dass die ausfahrenden Lichtkegel einen mehr centralen Theil der Objectivvorderfläche treffen. Der Mittelpunct selbst wird von Strahlen erhellt, welche ungebrochen durchgehen.

Dagegen macht sich für die Puncte, welche weiter vom Centrum abstehen, wie z. B. p (Fig. 96), ein Ausfall des Lichtes bemerkbar. Für diese wird nämlich der Austrittswinkel (= Einfallswinkel) α, wie ein Blick auf die Figur zeigt, grösser und folglich ϱ $(= 90^0 - [\alpha' - \alpha])$ kleiner. Ein mit TL (Fig. 95 und 96) paralleler Randstrahl wird daher so gebrochen, dass er mehr als 30^0 von der Senkrechten abweicht, also für das Auge verloren geht. Dieser Verlust tritt natürlich schon für den zunächst gelegenen Punct ein; er erstreckt sich allmählich, wenn wir der Peripherie immer näher rücken, auch auf die mehr links gelegenen Strahlen des Lichtkegels, bis endlich nur noch der mit $T''L'$ parallele Randstrahl tl das Auge erreicht. Alle ausserhalb der Papierebene verlaufenden Strahlen sind für diese Grenzlage unwirksam.

Figur 96.

Die Bestimmung dieses Grenzpunctes geschieht genau in derselben Weise, wie diejenige des Punctes P. Ist ϱ der halbe Ablenkungswinkel, so besteht die Gleichung

$$\varrho = 90^0 - \frac{\omega + \delta}{4}\text{, also im gegebenen Fall}$$

$$\varrho = 90^0 - \frac{60^0 + 30^0}{4} = 67\tfrac{1}{2}^0.$$

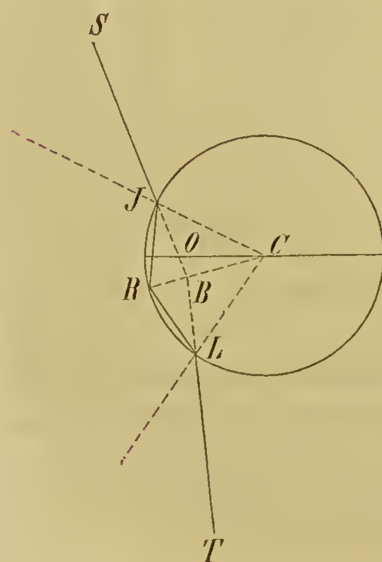
Aus der oben abgeleiteten Relation $\alpha' - \alpha = 90^0 - \varrho$ ergiebt sich ferner $\alpha' - \alpha = 22\tfrac{1}{2}^0$. Diese letztere Differenz tritt für den angenommenen

Brechungscoefficienten ein, wenn $\alpha = 13^0$; alsdann wird $\alpha' = 65^0\,37'$. Die fragliche Entfernung des Grenzpunctes — es sei p in Fig. 96 — ist demnach durch die Formel gegeben

$$Cp = \frac{\sin 43^0}{\sin 60^0} \cdot r = 0{,}7875 \cdot r.$$

159 Die Luftblase müsste also unter einem Mikroskop mit den angenommenen Oeffnungswinkeln einen schwarzen Rand zeigen, dessen Breite $= (1 - 0{,}7875) r = 0{,}2125 . r$. Der mittlere Theil bis P würde so hell als das Gesichtsfeld erscheinen und die Zone zwischen P und p den Uebergang vermitteln. Eine Aenderung der Oeffnungswinkel durch Anwendung verschiedener Objective und Blendungen könnte nur die numerischen Verhältnisse, nicht aber die Lichtvertheilung im Allgemeinen modificiren. Bei grösseren Werthen für ω und δ müsste der schwarze Rand schwächer, bei kleineren breiter ausfallen. Schiefe Beleuchtung hätte eine excentrische Lage des hellen Kreises zur Folge.

In Wirklichkeit zeigt nun aber das mikroskopische Bild der Luftblase ein wesentlich anderes Aussehen. Der helle innere Theil erscheint zwar allerdings von einer dunkleren Zone umschlossen, welche allmählich in vollkommenes Schwarz übergeht; dieselbe erstreckt sich aber nicht bis zum Rand, sondern wird nach aussen durch einen hellen Ring abgegrenzt, auf welchen sodann bis zur Peripherie ein ziemlich gleichmässiger Halbschatten folgt. Bei genauerer Beobachtung erkennt man etwas ausserhalb des erwähnten hellen Ringes noch einen zweiten weniger deutlichen; ja der ganze Halbschatten erweist sich als von abwechselnd helleren und dunkleren concentrischen Kreisen gebildet.



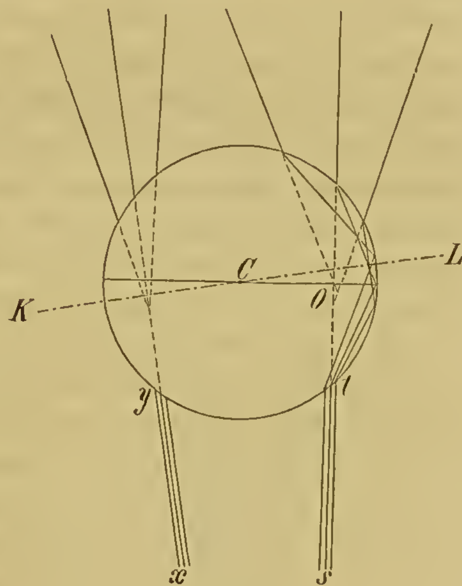
Figur 97.

Diese Erscheinungen lassen sich durch die Brechung allein nicht erklären; sie rühren von Strahlen her, welche ausserdem eine ein- oder zweimalige innere Reflexion erfahren haben. Es sei TL (Fig. 97) ein solcher Strahl, welcher in R reflectirt und in J zum zweiten Mal gebrochen wird; dann ist, wie sich ohne Weiteres aus der Figur ergiebt, JBC der halbe Ablenkungswinkel, für den wir wieder das Zeichen ϱ einführen

wollen. Da ϱ ein Aussenwinkel zum Dreieck JBR, so hat man $\varrho = \angle BJR + \angle BRJ$, oder wenn α wieder den Einfalls- und α' den Brechungswinkel bezeichnet

$$\varrho = (\alpha' - \alpha) + \alpha' = 2\alpha' - \alpha.$$

Es wäre leicht, nach dieser Gleichung die Grenzen zu bestim- 160
men, zwischen denen die Luftblase in Folge der innern Spiegelung beleuchtet erscheint. Damit wäre indess die Frage noch keineswegs erledigt. Es erscheint zweckmässiger, von einem bestimmten Falle auszugehen, welcher direct zur Lösung unseres Problems führt, von dem Falle nämlich, wo der ein- und austretende Strahl in derselben geraden Linie liegen und folglich der Winkel ϱ ein rechter wird. Dieselbe Grösse erreicht alsdann auch die Differenz $2\alpha' - \alpha$, woraus sich für α ein Werth von $43\frac{1}{2}^0$ ergiebt. Denken wir uns nun statt des einfallenden Strahls ein paralleles Strahlenbündel st (Fig. 98), so geht natürlich nur derjenige Strahl, dessen α genau den bezeichneten Werth hat, in der ursprünglichen Richtung weiter. Alle übrigen Strahlen des Bündels werden mehr oder weniger abgelenkt, und zwar — wie die Rechnung zeigt — nach links von der Verticalen,



Figur 98.

wenn $\alpha < 43\frac{1}{2}^0$ und nach rechts, wenn $\alpha > 43\frac{1}{2}^0$. Als Beispiele sind nachstehend einige berechnete Werthe zusammengestellt. Die erste Columne enthält die Einfallswinkel α, die zweite die entsprechende Ablenkung φ von der Verticalen nach rechts oder links; in der dritten wurden die Entfernungen der Puncte hinzugefügt, in welchen die austretenden Strahlen die Einstellungsebene schneiden.

Einfallswinkel α	Abweichung von der Senkrechten φ.	Abstand d. Durchschnittspuncte vom Centrum.
37°	40° links	0,7856 . r
39°	29° 12′ »	0,7209 . r
40°	23° 24′ »	0,7004 . r
42°	10° 40′ »	0,6809 . r
43½°	0°	0,6883 . r
45°	13° 12′ rechts	0,7263 . r
47°	36° 32′ »	0,9314 . r

Parallele Strahlen, deren Einfallswinkel zwischen 40 und circa 44⁰ variiren, erhalten demnach durch die innere Spiegelung, verbunden mit der Brechung an der Oberfläche, eine solche Richtung, dass sie sämmtlich von Puncten zu kommen scheinen, deren Abstand vom Centrum 0,68—0,70.r beträgt und also höchstens um $^1/_{50}$ des Radius differirt. Mit andern Worten: dem einfallenden parallelstrahligen Lichtbündel entspricht ein ausfahrender Lichtkegel, dessen virtueller Convergenzpunct O etwas unterhalb die Einstellungsebene, jedoch nahezu in die Linie fällt, welche den ohne Ablenkung austretenden Strahl darstellt. Hier concentrirt sich also für unser Auge der ganze Lichteffect, welchen das einfallende Bündel auf diesem Wege hervorzubringen vermag. Dazu kommt, dass jedes andere Strahlenbündel xy (Fig. 98), welches bei gleichen Einfallswinkeln um einige Grade nach rechts oder links abweicht (wurde, um Verwirrung zu vermeiden, auf der opponirten Seite gezeichnet) sich mit Rücksicht auf die rechtwinklig dazu errichtete Diametralebene KL ebenso verhält, so dass also die Helligkeit des Punctes O noch durch unendlich viele andere verstärkt wird, welche etwas höher oder tiefer liegen und mit jenem eine ununterbrochene Lichtlinie bilden.

Auf diese Weise wird es erklärlich, dass ein kleiner Raum in einem Abstand von $CO = 0,69.r$ vom Centrum, mitten im Randschatten so entschieden beleuchtet und von oben gesehen als heller Ring erscheint. Man begreift auch, dass die Breite dieses Ringes, wenigstens innerhalb der gewöhnlichen Grenzen, mit den Oeffnungswinkeln des Objectivs und der Blendung zu- und abnimmt und dass eine höhere oder tiefere Einstellung die Verwischung seiner Umrisse zur Folge haben muss.

Wenden wir jetzt dasselbe Raisonnement auf Strahlen an, welche eine zweimalige innere Reflexion erfahren haben, so erklärt sich auch das Vorhandensein eines weniger deutlichen äusseren Ringes. Ist ST (Fig. 99) ein solcher Strahl, welcher in R und Q reflectirt und in P zum zweiten Mal gebrochen wird, so sind die Dreiecke CPQ, CQR

161

Figur 99.

und CRT congruent und ihre den Sehnen PQ, QR und RT anliegenden Winkel $= \alpha'$. Folglich messen die drei Centriwinkel PCQ, QCR und RCT zusammengenommen $= 3(180^0 - 2\alpha')$. Andererseits giebt das Dreieck PCD die Beziehung

$$\angle PDC = \varrho = FCP - CPD = FCP - \alpha$$

oder da $FCP = \frac{360^0 - PCT}{2}$

$$\varrho = \frac{360^0 - 3(180^0 - 2\alpha')}{2} - \alpha = 3\alpha' - \alpha - 90^0$$

Für den Fall, dass der einfallende Strahl ohne Ablenkung austritt, also $\varrho = 90^0$, besteht hiernach die Bedingung $3\alpha' - \alpha = 180^0$. Dieser Bedingung wird Genüge geleistet, wenn $\alpha = 46^0\,28'$, woraus sich der Abstand des Punctes D vom Centrum auf $0{,}725 . r$ berechnet. Die nachstehende Uebersicht, in welcher dieselben Grössen zusammengestellt wurden, wie in der oben mitgetheilten, zeigt nun, dass parallele Strahlen, deren Einfallswinkel etwas grösser oder kleiner als $46^0\,28'$, wie im vorhergehenden Falle einen virtuellen Brennraum bilden, dessen kleinster Durchmesser etwas oberhalb der Einstellungsebene und der Richtungslinie des ohne Ablenkung austretenden Strahls sehr nahe liegt.

Einfallswinkel α	Abweichung von der Senkrechten φ	Abstand der Durchschnittspuncte in der Einstellungsebene vom Centrum.
$43\frac{1}{2}^0$	46^0 links	$0{,}995 . r$
44^0	$39\frac{1}{2}^0$ »	$0{,}900 . r$
45^0	$25^0\,12'$ »	$0{,}781 . r$
46^0	$8^0\,36'$ »	$0{,}727 . r$
$46^0\,28'$	0^0	$0{,}725 . r$
47^0	$11^0\,48'$ rechts	$0{,}747 . r$
48^0	42^0 »	$1{,}000 . r$

Der äussere helle Ring kommt demnach in einer Entfernung von $0{,}725 . r$ vom Centrum zu Stande. Er steht um $0{,}0366 . r$ oder annähernd um den 27sten Theil des Halbmessers vom inneren ab und erscheint in einem etwas höheren Niveau am schärfsten contourirt. Seine geringere Lichtstärke erklärt sich theils durch den stärkeren Verlust in Folge der zweimaligen Spiegelung, theils durch die enger gezogenen Grenzen der Einfallswinkel (c. $45\frac{1}{2}^0$—47^0).

Aus dem Angeführten lässt sich zugleich die Folgerung ziehen, 162
dass weitere helle Ringe durch Strahlenbündel gebildet werden,

welche eine 3—4 oder mehrmalige innere Reflexion erfahren haben. Es mag genügen, für diese Fälle die Bedingungen zusammenzustellen, unter welchen die ausfahrenden Strahlen keine Ablenkung zeigen und hienach die Puncte zu bestimmen, in welchen sie, rückwärts verlängert, die Einstellungsebene schneiden. Die Abstände dieser Puncte dürfen hier ohne Weiteres mit denen der entsprechenden Ringe identificirt werden.

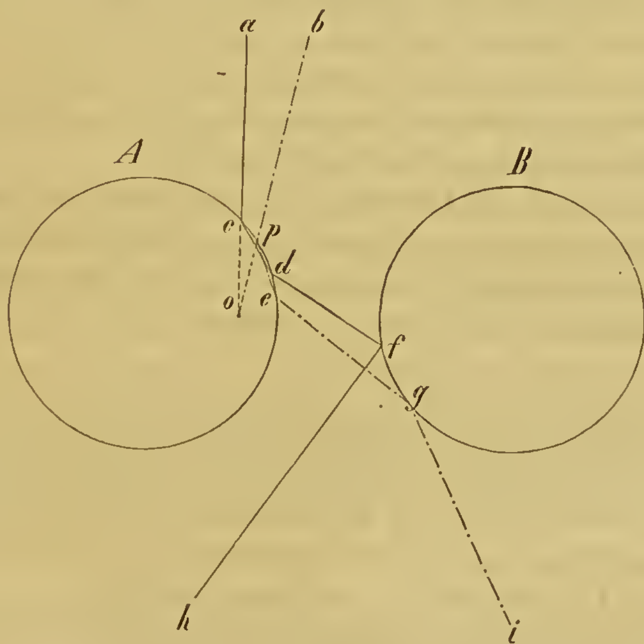
Zahl der innern Reflexionen.	Bedingungsgleichung für den ohne Ablenkung austretenden Strahl.	Einfallswinkel α	Brechungswinkel α'	Abstand der Ringe vom Centrum.
3	$4\alpha' - \alpha = 270^0$	$47^0\ 23'$	$79^0\ 23'$	$0{,}7359.r$
4	$5\alpha' - \alpha = 360^0$	$47^0\ 47'$	$81^0\ 33'$	$0{,}7406.r$
5	$6\alpha' - \alpha = 450^0$	48^0	83^0	$0{,}7431.r$
6	$7\alpha' - \alpha = 540^0$	$48^0\ 7'$	$84^0\ 3'$	$0{,}7447.r$

Es versteht sich von selbst, dass diese Reihe ihren Abschluss findet, sobald der Einfallswinkel seinen Grenzwerth, welcher für Wasser und Luft $48^0\ 29'$ beträgt, erreicht hat. Der diesem Grenzstrahl entsprechende Ring, der übrigens nicht mehr wahrnehmbar sein kann, würde um $0{,}7487.r$, also annähernd $^3/_4$ des Halbmessers vom Centrum abstehen. Daraus folgt indessen noch nicht, dass der übrig bleibende peripherische Theil des Randes nicht ebenfalls durch die innere Spiegelung beleuchtet werde. Vielmehr geht aus den mitgetheilten Tabellen hervor, dass die hier in Betracht kommenden Lichtstrahlen, sofern sie nicht zur Bildung der Ringe beitragen, sämmtlich so abgelenkt werden, dass sie von Puncten zu kommen scheinen, welche ausserhalb des entsprechenden Ringes liegen. Als Gesammtwirkung muss sich daher eine schwache Erhellung des Randes ergeben, während der Kernschatten innerhalb der Ringe wegen gänzlichen Lichtmangels vollkommen schwarz erscheint.

163 Da die Abstände der Ringe von Grössen abhängen, welche ihrerseits durch den Brechungsindex des umgebenden Mediums bestimmt werden, so lässt sich erwarten, dass Flüssigkeiten von grösserer Dichtigkeit, wie Oel, Glycerin u. dgl., die mitgetheilten Zahlenverhältnisse modificiren. In Oel mit dem Brechungscoefficienten 1,5 erhält man z. B. für den innersten hellen Ring einen Abstand von $0{,}5957.r$ vom Centrum, was mit der Beobachtung vollkommen übereinstimmt. Aus demselben Grunde liegen die Ringe im blauen Licht stets etwas

näher dem Centrum, als im rothen, woraus sich denn erklärt, dass sie bei Anwendung von weissem Licht auf der Innenseite blau und auf der Aussenseite roth umsäumt erscheinen.

Auffallend deutlich treten die hellen Ringe, und damit auch die 164
Farbensäume, an den zugekehrten Seiten benachbarter Luftblasen hervor. Das schwache Halblicht, welches dem Randschatten einen grauen Ton verleiht, steigert sich hier zu einem intensiven Lichtstreifen, der nach innen zu scharf gezeichnete, den Ringen entsprechende Linien erkennen lässt, nach aussen dagegen als homogener Schimmer erscheint. Wie eine solche Verstärkung des Lichteffectes durch die Wirkung einer Luftblase auf eine andere hervorgebracht wird, lässt sich am einfachsten darthun, indem man die Strahlen des ausfahrenden Lichtkegels rückwärts verfolgt und an den Reflexionsstellen durch Brechung ins Wasser übergehen lässt, worauf sie durch die benachbarte Luftblase theilweise nach unten gegen die Blendung



Figur 100.

reflectirt werden. So gelangen z. B. die Strahlen *ac* und *bp* (Fig. 100), welche nach dem Puncte *o* im zweiten Ringe der Luftblase *A* convergiren und nach zweimaliger Brechung sich in den Richtungen *df* und *eg* fortbewegen, durch Reflexion an der Luftblase *B* nach *h* und *i*. Sind *ac* und *bp* die Randstrahlen eines von oben einfallenden Lichtkegels, so sind *fh* und *gi* auch die Randstrahlen des entsprechenden ausfahrenden. Umgekehrt müssen daher auch, wenn die Bewegung

des Lichtes von unten nach oben stattfindet, die Strahlen des weit geöffneten Kegels *hfgi* sich zu dem spitzen Bündel *acpb* sammeln und somit die Beleuchtung des Punctes *o* vermitteln. Nähern sich *hf* und *ig* der Verticalen, was mit der Verkleinerung der Blendung gleichbedeutend ist, so rücken auch *ac* und *bp* sich gegenseitig näher. Das zum Objectiv gelangende Lichtbündel wird dadurch geschwächt, bleibt aber nach wie vor etwas nach rechts geneigt. Diese Neigung schlägt aber in die entgegengesetzte um, wenn die Luftblasen sich beträchtlich weiter von einander entfernen. Die Richtungslinien *df* und *eg* nähern sich alsdann mehr der Horizontalen; *ac* und *bp* rücken in Folge dessen weiter nach links, fast so, als ob die Luftblase *A* sich in derselben Richtung um ihre Axe drehte. Das ausfahrende Lichtbündel wechselt also je nach der Entfernung der beiden Luftblasen seine Neigung zur Axe des Mikroskops.

In ähnlicher Weise lässt sich auch die Verstärkung der übrigen Ringe, wie überhaupt die intensivere Beleuchtung des Randes veranschaulichen. Man hat nur nöthig, den entsprechenden Lichtkegel zu construiren und einzelne Strahlen desselben, ähnlich wie in Fig. 100, rückwärts zu verfolgen, um sich über die verschiedenen hieher gehörigen Erscheinungen Rechenschaft zu geben.

165 Betrachtet man die Luftblase ohne Rücksicht auf die Einstellungsebene als brechenden Apparat, so wirkt sie im Wesentlichen wie eine biconcave Linse. Ihre Brennweite *f*, welche natürlich negativ ausfällt, wird durch die Formel bestimmt

$$f = -\frac{r}{2(n-1)}$$

wobei *r* der Radius und *n* der Brechungscoefficient des umgebenden Mediums. Da die beiden Hauptpuncte, wie in jeder Kugel, mit dem Centrum zusammenfallen, so ist obiger Ausdruck auch gleich dem Abstand des Brennpunctes vom Mittelpuncte. In Oel mit dem Brechungsindex 1,5 wird $f = -r$, in Wasser annähernd $-\frac{3}{2}r$, welche Werthe indess durch die Aberration der Randstrahlen mehr oder minder (in Wasser um circa $0{,}2 \cdot r$) reducirt werden *).

---

*) Durch ein achromatisches Linsensystem wird ein einfallender Lichtkegel stets so gebrochen, als ob derselbe von Strahlen von ungefähr mittlerer Neigung gebildet würde, d. h. der Lichtkegel verhält sich wie ein Kegelmantel von geringerer Oeffnung. Hieraus erklärt sich, dass das Auflegen eines Deckplättchens auf ein beliebiges Object eine scheinbare Annäherung desselben um eine bestimmte Grösse bedingt, obschon der mathematische Ausdruck für diese Annäherung vom Neigungswinkel der Lichtstrahlen abhängig ist und daher keinen

Senkt man also den Focus des Mikroskops auf das Niveau des Brennpunctes herunter, so kommt dort das Bild entfernterer Gegenstände, die gerade im Spiegel sich reflectiren oder in den einfallenden Lichtkegel eingetaucht werden, zum Vorschein. Seine Umrisse erscheinen um so schärfer gezeichnet, je mehr man durch die Wahl der Blendung oder der Beleuchtung schief gegen die Axe einfallende Strahlen ausschliesst und je weniger die Randstrahlen des zum Objectiv gelangenden Lichtkegels von der Senkrechten abweichen. Ein senkrecht von unten einfallendes, parallelstrahliges Lichtbündel liefert bei Anwendung einer mässigen Vergrösserung ein so scharfes Bild, dass es bei etwas höherer oder tieferer Einstellung sich sogleich verwischt.

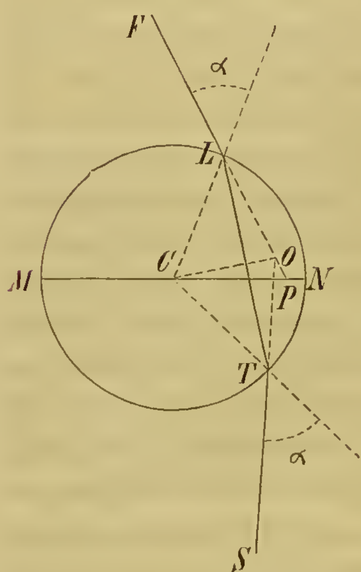
Die ungleiche Brechbarkeit der verschiedenfarbigen Strahlen bringt es mit sich, dass der ausfahrende Lichtkegel in der Mitte nur rothe, an der Peripherie nur violette Strahlen enthält. Man könnte versucht sein, hieraus die Thatsache zu erklären, dass der helle, farblose Kreis, welcher das Bild der Blendung darstellt, bei etwas höherer Einstellung nicht nur beträchtlich grösser wird, sondern auch ein röthliches Centrum und einen bläulichen Saum zeigt. Diese Farbenerscheinungen, wie sie in gleicher Weise auch bei reellen Bildern vorkommen, haben jedoch ihre wahre Ursache nicht im Object selbst, sondern in der chromatischen Aberration des Mikroskops, welche durch höhere Einstellung überverbessert, durch tiefere unterverbessert wird. Man überzeugt sich hievon durch das einfache Experiment, welches man gewöhnlich bei der Prüfung des Aberrationszustandes anwendet, indem man nämlich das Bildchen eines Fensters, das sich in einem Quecksilbertropfen abspiegelt, als Object benutzt. Hebung und Senkung des Focus führen alsdann dieselben Farbenerscheinun-

bestimmten Werth ergiebt. Ein Deckplättchen von 227 Mik. Dicke bewirkt z. B. für die Objective 7 und 9 von Bénèche eine Hebung des Objectpunctes von 80 Mik., woraus sich die maassgebende Neigung, wenn der Brechungscoefficient des Glases zu 1,5 angenommen wird, auf c. 18° berechnet. Diese nämliche Neigung bedingt auch die Lage des Brennpunctes einer Luftblase. Sie verursacht überdiess (wenn das Objectiv nicht in Wasser getaucht wird) noch eine weitere Verkürzung der Brennweite, welche daher rührt, dass ein im Wasser befindliches Object um so stärker gehoben erscheint, je tiefer es liegt. Der Brennpunct erfährt demnach eine stärkere Hebung, als das Centrum der Luftblase, und wird dadurch dem letzteren scheinbar näher gerückt. Wir werden diese Erscheinung, die bei directer Messung von Niveaudifferenzen nicht vernachlässigt werden darf, weiterhin ausführlich besprechen.

gen herbei, welche auch die durch Brechung entworfenen Bildchen der Luftblasen zeigen.

2. Oeltropfen in Wasser.

166 Wir betrachten den Oeltropfen in Wasser ganz allgemein als Repräsentant eines beliebigen Körpers mit kreisförmigem Verticalschnitt, der in ein Medium mit kleinerem Brechungscoefficienten eingetaucht ist. Um die Lichtvertheilung in einer gegebenen Durchschnittsebene, auf welche das Mikroskop eingestellt ist, zu bestimmen, wenden wir auch hier das Princip der Reciprocität des Strahlenganges an, indem wir Lichtbündel rückwärts vom Objectiv nach beliebigen Puncten der Einstellungsebene construiren, und hierauf deren Wege nach der Blendung hin verfolgen. Seien wiederum ω und δ die Oeffnungswinkel des Objectivs und der Blendung, MN (Fig. 101) die Einstellungsebene, FL ein nach dem Punct P zielender Strahl, welcher nach zweimaliger Brechung in der Richtung TS sich fortbewegt, endlich α und α' der Einfalls- und Brechungswinkel; dann ist der halbe Ablenkungswinkel



Figur 101.

$$\varrho = \tfrac{1}{2} LOT = LOC$$

und man erhält aus dem rechtwinkligen Dreieck, dessen Hypotenuse LO, die Relation

$$\varrho = 90^0 - (\alpha - \alpha').$$

Für diejenigen Puncte in der Einstellungsebene, deren Helligkeit der des Gesichtsfeldes gleichkommt, gelten nun aber dieselben Beziehungen und Deductionen, welche bereits oben (Nr. 157) entwickelt wurden. Die dort beigefügten Constructionen finden auch hier Anwendung, wenn man sich die Strahlenkegel, so wie sie dargestellt sind, von der linken Hälfte des Kreises auf die rechte hinübergeschoben denkt, so dass die Brechungsstellen wieder auf die Peripherie fallen. Man hat also

$$\varrho \overset{=}{>} 90^0 - \frac{\omega - \delta}{4}$$

und hieraus durch Combination mit obiger Gleichung

$$\alpha - \alpha' \overset{=}{<} \frac{\omega - \delta}{4}.$$

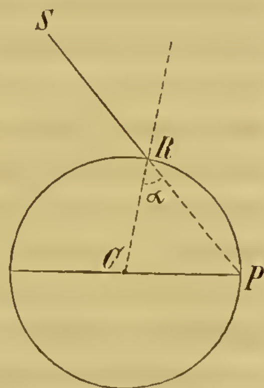
Ebenso ergiebt sich für die Grenzpuncte, welche nur noch von den äussersten Randstrahlen erhellt werden

$$\varrho = 90^0 - \frac{\omega + \delta}{4} \text{ und sonach}$$

$$\alpha - \alpha' = \frac{\omega + \delta}{4} .$$

Mit Hülfe dieser Gleichungen könnten nun leicht die Grenzen 167
bestimmt werden, bis zu welchen in irgend einem gegebenen Falle Kern- und Halbschatten reichen. Bei der grossen Verschiedenheit der Zahlenverhältnisse, die in der Praxis vorkommen können, gewährt jedoch die Erörterung eines bestimmten Beispiels kein besonderes Interesse; es mag genügen, auf einige allgemeinere Folgerungen hier noch aufmerksam zu machen.

Es sei SR (Fig. 102) ein Randstrahl des ausfahrenden Lichtkegels, welcher (rückwärts verlängert) die durch C gelegte Einstellungsebene im Puncte P der Kugeloberfläche schneidet. Alsdann ist sein Einfallswinkel α, wie ein Blick auf die Figur zeigt, gleich dem Winkel $RPC = 90^0 - \frac{\omega}{2}$. Ist nun für diese Grösse des Einfallswinkels $\alpha - \alpha' < \frac{\omega + \delta}{4}$ oder sogar kleiner als $\frac{\omega - \delta}{4}$, so fällt im ersteren Fall der Kernschatten, im zweiten auch der Halbschatten weg. Die Kugel erscheint also unter Umständen von einem Rand bis zum andern gleichmässig beleuchtet. Dieser Fall tritt ein, wenn der Brechungscoefficient derselben $= 1{,}5$, $\omega = 60^0$ und $\delta \leqq 22^0$ ist; diess vorausgesetzt wird nämlich $\alpha - \alpha' = 9\tfrac{1}{2}^0$ und $\frac{\omega - \delta}{4} \geqq 9\tfrac{1}{2}^0$. Oeltropfen, kugelige Stärkekörner, cylindrische Haare u. dgl., deren Brechungsvermögen von dem eben angenommenen nicht sehr abweicht, zeigen daher bei stärkeren Vergrösserungen keinen Randschatten, während die schwächern Objective ihn um so deutlicher hervortreten lassen, je kleiner ihr Oeffnungswinkel. Am breitesten müsste er natürlich bei der Beobachtung mit blossem Auge erscheinen, da alsdann ω als verschwindend klein zu betrachten wäre.



Figur 102.

Wenn bei gleichbleibendem ω der Winkel δ variirt, so ändert sich die Lichtvertheilung in folgender Weise. Ist $\delta = 0$, die einfallenden Strahlen also parallel, so werden die Bedingungsgleichungen für

den Kern- und Halbschatten identisch, d. h. die Grenzen beider fallen zusammen oder was dasselbe ist, der Halbschatten fällt weg. Nimmt δ allmählich zu, so wird der Kernschatten schmäler, der Halbschatten breiter. Die innere Grenze des letztern erreicht endlich, wenn $\delta = \omega$, das Centrum; die Kugel erscheint dann nirgends so hell beleuchtet, als das Gesichtsfeld. Wird $\delta > \omega$, so rückt die Grenzlinie des Halbschattens wieder nach aussen, ebenso die des Kernschattens. Beide erreichen früher oder später, je nach der Grösse von ω, die Kugeloberfläche.

Werden nun auch diese theoretischen Folgerungen durch die Ungleichheit des Verlustes, welchen die verschieden geneigten Strahlen in Folge der Reflexion an den Linsenoberflächen erleiden, sowie ferner durch die Aberrationen des Objectes und des Mikroskops etwas modificirt, so lehrt doch das Experiment, dass die berechneten Grenzen zwischen Licht und Schatten für jede beliebige Combination von ω und δ nahezu mit den beobachteten übereinstimmen. Sieht man z. B. durch die Mikroskopröhre (nach Wegnahme des Objectiv- und Oculareinsatzes) bei gewöhnlicher Beleuchtung auf eine Glaskugel oder einen cylindrischen Glasstab herunter, welche in den einfallenden Lichtkegel eingetaucht sind, so erscheint die beleuchtete Mitte beinahe nur als Punct oder als Linie und der breite Randschatten tief schwarz. Hält man aber dieselben Objecte gegen den freien Himmel, wobei also δ sehr gross wird, so erscheinen sie von einem Rande bis zum andern hell.

168 Die Brennweite f einer Kugel oder eines Cylinders für parallel einfallende Lichtstrahlen wird durch die Formel bestimmt

$$f = \frac{n'r}{2(n'-n^0)}$$

wobei n' und n^0 beziehlich die Brechungsexponenten der Kugelsubstanz und des umgebenden Mediums und r den Radius der Kugel bezeichnet. Ist z. B. $n' = 1{,}5$ und $n^0 = 1$, so ergiebt sich als Abstand des Brennpunctes vom Centrum $\frac{3}{2}r$. — Stellt man also das Mikroskop auf das entsprechende Niveau ein, so erscheint dort das reelle Bild entfernterer Gegenstände, von welchen gerade Licht durch die Blendung zum Object gelangt. Dasselbe zeichnet sich sowohl bei Oeltropfen und kugligen Stärkekörnern, als auch bei cylindrischen Haaren, Bastzellen u. dgl. mit auffallender Schärfe, wenn man nur die Blendung ziemlich weit nach unten zurückzieht oder auf irgend eine andere Weise den Parallelismus der einfallenden Strahlen herstellt. Unter günstigen Umständen ist es sogar möglich, aus der be-

kannten Entfernung und Grösse des Gegenstandes und der genau gemessenen Grösse des Bildchens den Brechungscoefficienten der Substanz bis auf die zweite Decimale genau zu bestimmen. Die dabei anzuwendende Formel lässt sich leicht aus der eben abgeleiteten für die Brennweite*) und der bekannten Relation der conjungirten Vereinigungsweiten $\left(\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}\right)$, welche jenen Grössen proportional sind, entwickeln. Ist M der Durchmesser des fraglichen Gegenstandes, z. B. der Blendung, p seine Entfernung vom Object, m der Durchmesser des Bildchens, endlich n^0 und n' die Brechungscoefficienten, so findet man

$$n' = \frac{2pn^0}{2p - \left(1 + \frac{M}{m}\right)r}\,, \text{ oder annähernd } n' = \frac{2pn^0}{2p - \frac{M}{m}r}$$

wobei in der letzteren Formel vorausgesetzt ist, dass p im Verhältniss zu r sehr gross sei.

Wollte man diese Formeln auf Kugeln mit negativen Brennweiten anwenden, so wäre das zweite Glied des Nenners positiv zu nehmen. Man hätte also

$$n' = \frac{2pn^0}{2p - \frac{M}{m}r} \text{ und hieraus } n^0 = \left(1 + \frac{Mr}{2pm}\right)n'\,.$$

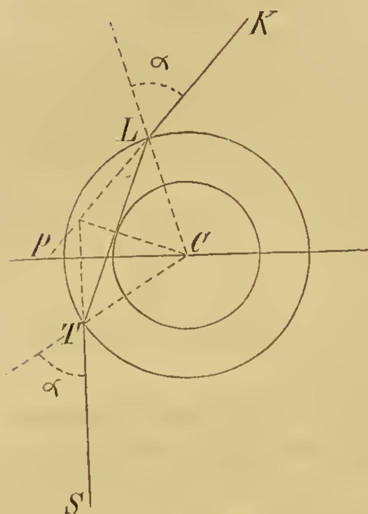
3. Hohlkugel und Hohlcylinder.

Die folgende Betrachtung findet ihre Anwendung auf röhren- 169
förmige Zellen, Oeltropfen und Zellkerne mit Vacuolen, Stärkekörner mit rundlichen Höhlungen u. dgl. Der Kürze wegen und um eine bestimmte Vorstellung zu haben ist jedoch durchgehends nur vom Hohlcylinder die Rede. Die Lichtbündel, welche bei einem solchen Object auf das mikroskopische Bild Einfluss üben, nehmen — wie sich erwarten lässt — einen vierfach verschiedenen Verlauf. Es sind nämlich 1) Randstrahlen, welche die Wandung der cylindrischen Röhren durchsetzen, ohne das Lumen zu erreichen; 2) Randstrahlen, welche die Innenfläche des Cylinders sehr schiefwinklig treffen und dort reflectirt werden; 3) Strahlen, welche in das Lumen eindringen, an der Wandung reflectirt werden und dann nach zweimaliger Brechung

*) Die Formel für die Brennweite bedarf übrigens wegen der Kugelabweichung der Randstrahlen einer kleinen Correction, die zum Theil von der Eigenthümlichkeit des Objectivs abhängt. Hierüber gilt, was oben über die Brennweite der Luftblase bemerkt wurde (s. Anmerkung zu Nr. 165).

zum Objectiv gelangen; 4) Strahlen, welche das Lumen geradlinig durchsetzen und folglich eine viermalige Brechung erleiden.

Die Randstrahlen, welche bloss zwei Mal gebrochen werden, verhalten sich natürlich genau, wie im soliden Cylinder. Es hängt hier aber nicht bloss von den Oeffnungswinkeln ω und δ, sondern auch von der Dicke der Wandung ab, ob und wieviel sie zur Beleuchtung der letzteren beitragen. Ist r der kleine und R der grosse Radius des Hohlcylinders, die Dicke der Wand also $R-r$, ferner $STLK$ (Fig. 103) ein Grenzstrahl, welcher nach der ersten Brechung die Innenwand tangirt, $\alpha-\alpha'$ sein Einfalls- und Brechungswinkel und n der Brechungsindex, so hat man $\sin\alpha' = r$, $\sin\alpha = \frac{n \sin\alpha'}{R}$, folglich $\sin\alpha = \frac{nr}{R}$. Für die Randstrahlen im Allgemeinen gilt demnach die Bedingung $\sin\alpha > \frac{nr}{R}$. Da sie überdiess, wenn sie bei mittlerer Einstellung zur Erhellung der Wand mitwirken sollen, der allgemeinen Gleichung genügen müssen $\alpha-\alpha' \leqq \frac{\omega+\delta}{4}$, so gehen sie für das mikroskopische Bild verloren, sobald $\frac{nr}{R}$ eine gewisse Grösse erreicht. Sie kommen also bei gegebenen Brechungsverhältnissen nur bei dickeren Wandungen in Betracht.

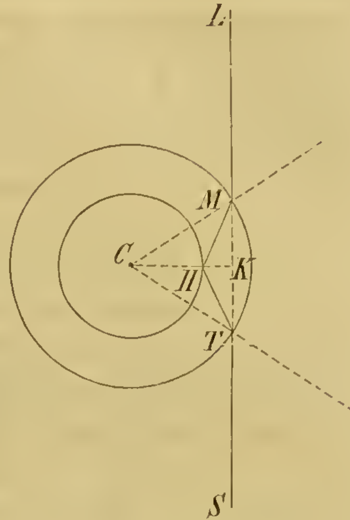


Figur 103.

Ist z. B. $n = \frac{1,649}{1,335}$ (Brechungsverhältniss zwischen Flintglas und Wasser) und $\frac{r}{R} = 0,8$, so findet man $\alpha \geqq 81^0$, $\alpha' \geqq 53^0\,8'$, $\alpha-\alpha'$ also beinahe 28^0 im Minimum. Die Summe der Oeffnungswinkel $\omega+\delta$ müsste also nahezu $4 \times 28 = 112^0$ betragen, wenn auch nur die innersten Strahlen zur Beleuchtung der Cylinderwandung beitragen sollen. Die letztere müsste also, würde ihr nicht ein anderer Strahlengang Licht verleihen, selbst bei ziemlich starker Vergrösserung (gewöhnliche Beleuchtung vorausgesetzt) vollkommen schwarz erscheinen.

70 Die unter 2) angeführten Randstrahlen, welche an der innern Grenzfläche der Wandung wieder nach der äussern zurückgeworfen werden und hier die zweite Brechung erfahren, bilden etwas oberhalb

der Mitte einen virtuellen Focus, welcher — ähnlich, wie in der Luftblase — nahezu mit dem Puncte zusammenfällt, in welchem die Richtungslinie des ungebrochen durchgehenden Strahls die durch das Centrum gelegte Einstellungsebene schneidet. Um diesen Punct zu bestimmen, sei ST (Fig. 104) ein senkrecht von unten einfallender Strahl, welcher in H reflectirt und in M zum zweiten Mal gebrochen wird; ferner α und α' der Einfalls- und Brechungswinkel, r der kleine und R der grosse Radius, endlich $\varrho = \angle MKH$ und $\eta = \angle MHK$. Dann giebt das Dreieck MHK $\varrho = 180^0 - [(\alpha - \alpha') + \eta]$; folglich $\sin\varrho = \sin(\alpha - \alpha' + \eta) = \sin(\alpha - \alpha')\cos\eta + \cos(\alpha - \alpha')\sin\eta$.



Figur 104.

Im Dreieck CHM verhält sich aber $CM : CH = \sin\eta : \sin\alpha'$ und hiernach ist $\sin\eta = \frac{CM}{CH}\sin\alpha' = \frac{R}{r}\sin\alpha'$. Obige Formel geht daher über in

$$\sin\varrho = \sin(\alpha - \alpha')\sqrt{1 - \left(\frac{R}{r}\sin\alpha'\right)^2}$$
$$+ \cos(\alpha - \alpha')\frac{R}{r}\sin\alpha'.$$

Mit Hülfe dieser Gleichung lässt sich die Richtung des ausfahrenden Strahls für jeden beliebigen Einfallswinkel bestimmen. Im Falle $\varrho = 90^0$ wird η der complementäre Winkel zu $\alpha - \alpha'$. Man hat alsdann

$$\cos(\alpha - \alpha') = \sin\eta = \frac{R}{r}\sin\alpha', \text{ und hieraus}$$
$$\frac{r}{R} = \frac{\sin\alpha'}{\cos(\alpha - \alpha')}.$$

Aus dem letzteren Ausdruck geht hervor, dass bei jedem beliebigen Einfallswinkel sich ein Verhältniss der Radien denken lässt, welches dem austretenden Strahl die Richtung des einfallenden giebt. Da nun die Richtungslinie des ohne Ablenkung austretenden Strahls, und mit ihr der virtuelle Focus, um so weiter nach innen rückt, je kleiner α, so ist es nicht ohne praktisches Interesse, die Lage dieses Brennraumes, welcher im mikroskopischen Bilde als helle Linie erscheint, mit dem Grössenverhältniss zwischen R und r zu vergleichen und sich im Allgemeinen über die hier bestehenden Beziehungen zu orientiren. Es wurden daher nachstehend einige Werthe von $r : R$

mit den entsprechenden Abständen des virtuellen Focus vom Centrum (in der Tabelle mit F bezeichnet) zusammengestellt und die zugehörigen Einfalls- und Brechungswinkel beigesetzt. Der Brechungscoefficient wurde dabei zu $\frac{1,5}{1,3356}$ angenommen und R als Einheit gewählt. Die Grössen F und r sind also in Bruchtheilen des grösseren Halbmessers ausgedrückt.

α	α'	r	F
20°	17° 44′	0,301	0,3420
25°	22° 6′	0,3768	0,4226
30°	26° 26′	0,4460	0,500
35°	30° 43′	0,5121	0,5735
40°	34° 55′	0,5746	0,6427
45°	39° 1′	0,6331	0,7070
50°	43° —	0,6872	0,7660
55°	46° 50′	0,7368	0,8191
60°	50° 27′	0,7801	0,8660
65°	53° 48′	0,822	0,9063
70°	56° 48′	0,8594	0,9397
75°	59° 19′	0,8933	0,9659
80°	61° 16′	0,9259	0,9848

Der virtuelle Brennraum steht also durchweg etwas weiter vom Centrum ab, als die innere Grenzfläche der Cylinderwandung. Da nun, wie die Rechnung zeigt, alle Strahlen, deren Einfallswinkel bei gleichen Radien etwas grösser oder kleiner sind als die oben bezeichneten, stets von Puncten zu kommen scheinen, welche der Peripherie näher liegen, so folgt daraus, dass der innerste Theil der Wandung in einer Breite von $F-r$ in den Kernschatten fällt, während der peripherische (ähnlich wie bei der Luftblase der Rand ausserhalb der Ringe) eine schwache Beleuchtung erhält, die jedoch unter den oben entwickelten Bedingungen durch die sub 1. erwähnten Randstrahlen verstärkt wird. Die resultirende Helligkeit erreicht in vielen Fällen, wenn das umgebende Medium Wasser ist und ω und δ ziemlich gross gewählt werden, diejenige des Gesichtsfeldes, so dass die helle Linie gegen den Rand zu ohne bestimmte Abgrenzung und somit nur noch als schwache Steigerung des Lichteffectes erscheint.

171 Die Voraussetzung, die in der Praxis gewöhnlich stillschweigend gemacht wird, dass nämlich das Lumen einer cylindrischen Zelle soweit reiche als der Randschatten, ist also nach dem Angeführten eine

wesentlich unrichtige. Der Irrthum ist um so grösser, je stärker das Brechungsvermögen der Substanz; er wird nur dann verschwindend klein, wenn das Object in einem Medium von annähernd gleicher Dichtigkeit liegt. Dasselbe gilt natürlich auch von den Hohlräumen in Stärkekörnern, Zellkernen, Oeltropfen u. dgl.; sie erscheinen sämmtlich etwas grösser, als sie wirklich sind.

Da bei dünneren Wandungen die Reflexion eine vollständigere und in vielen Fällen eine totale ist, so erreicht die helle Linie hier auch eine grössere Intensität. Am schönsten tritt sie in Glasröhren hervor, welche von Wasser umgeben und mit Luft gefüllt sind.

Die ungleiche Brechbarkeit der verschiedenfarbigen Strahlen verursacht auch hier, wie bei der Luftblase, schmale Farbensäume an den Rändern der hellen Linie, und zwar erscheint, wie sich aus den Brechungsverhältnissen von selbst ergiebt, der äussere Saum blau und der innere roth.

Zum Schlusse mag hier noch eine kleine Tabelle Platz finden, welche den Einfluss des Brechungscoefficienten n auf den Abstand der hellen Linie für verschiedene Werthe von r veranschaulicht. Die Zahlen wurden theilweise durch Interpolation bestimmt, sind jedoch bis zur dritten Decimale genau. Als Einheit wurde, wie oben, der grössere Halbmesser R angenommen.

Halbmesser des Hohlraums r	Abstand der hellen Linie vom Mittelpunct.		
	$n = \frac{1,5}{1,3356}$	$n = \frac{1,4}{1,3356}$	$n = \frac{1,35}{1,3356}$
0,5	0,5598	0,5236	0,5054
0,6	0,6707	0,6284	0,6064
0,7	0,7798	0,7329	0,7075
0,8	0,8842	0,8366	0,8085
0,9	0,9698	0,9378	0,9095

Wir haben drittens die Strahlen zu verfolgen, welche in den 172
Hohlraum eindringen und an der Wandung reflectirt werden, so dass sie erst nach viermaliger Brechung und einmaliger Reflexion zum Objectiv gelangen. Dieser Strahlengang bedingt, wie der entsprechende in der Luftblase, die Bildung einer zweiten hellen Linie, welche wie immer dem Puncte entspricht, in welchem der ohne Ablenkung austretende Strahl (rückwärts verlängert) die Einstellungsebene schneidet. Um diesen Punct zu bestimmen, betrachten wir den

senkrecht von unten einfallenden Strahl ST (Fig. 105), dessen Einfalls- und Brechungswinkel, wie bisher, α und α' heissen mögen. Die Winkel, welche mit Rücksicht auf die innere Grenzfläche der Wandung als Einfalls- und Brechungswinkel erscheinen, seien α'' und α''' und der halbe Ablenkungswinkel $CPT = \varrho$. Alsdann ist $\varrho = \angle CKT - (\alpha - \alpha')$, oder da CKT als Aussenwinkel zum Dreieck UKJ

$$= (\alpha''' - \alpha'') + \alpha''' = 2\alpha''' - \alpha''$$

$$\varrho = 2\alpha''' + \alpha' - (\alpha'' + \alpha)$$

wobei $\sin\alpha'' = \frac{R}{r}\sin\alpha' = \frac{R}{nr}\sin\alpha$ und

$\sin\alpha''' = n\sin\alpha'' = \frac{R}{r}\sin\alpha$, wenn n der relative Brechungscoefficient der Cylindersubstanz. Für den ohne Ablenkung austretenden Strahl ergiebt sich also die Bedingung $2\alpha''' + \alpha' - (\alpha'' + \alpha) = 90^0$. Ist das umgebende Medium, sowie das eingeschlossene, Wasser und der Brechungscoefficient des Hohlcylinders $n = \frac{1,5}{1,3356}$, so erhält man für die nachstehend angenommenen Verhältnisse zwischen r und R die beigesetzten Werthe von α und hieraus die Abstände F der hellen Linie vom Centrum.

Figur 105.

$\frac{r}{R}$	α	α'	α''	α'''	F
0,8	$51^0\ 48'$	$44^0\ 24'$	61^0	$79^0\ 13'$	0,7859
0,8904	$61^0\ 30'$	$51^0\ 30'$	$61^0\ 30'$	$80^0\ 45'$	0,8788

Bei der zweiten Reihe wurde $\frac{r}{R} = \frac{1}{n}$ gesetzt, wodurch

$$\sin\alpha'' = \sin\alpha\ , \text{ folglich } \alpha'' = \alpha$$

wird. — Die Vergleichung der letzten Columne mit der ersten ergiebt, dass die Werthe von F etwas kleiner sind als diejenigen von r, oder mit anderen Worten, dass die innere helle Linie in den Hohlraum fällt. Es ist übrigens ohne Weiteres klar, dass der Abstand derselben von der Wandung mit dem Brechungscoefficienten zu- und abnimmt; denn da α''' von n unabhängig ist, so wird, wenn man die Bedingungsgleichung in die Form bringt

$$2\alpha''' - [\alpha + (\alpha'' - \alpha')] = 90^0$$

der in [ ] stehende Ausdruck kleiner, wenn n zunimmt, weil alsdann α'' und α' und damit auch ihre Differenz kleiner wird. Es muss daher ein grösseres α gewählt werden, um in diesem Fall der Gleichung Genüge zu leisten; die helle Linie rückt weiter nach innen. Ebenso erklärt sich das Hinausrücken der Linie, wenn n abnimmt. Diese Verschiebungen sind jedoch, wie die Rechnung zeigt, so klein, dass sie in den meisten vorkommenden Fällen geradezu vernachlässigt werden können. Beispielsweise sind nachstehend einige Werthe von n und F zusammengestellt. Das dabei vorausgesetzte Verhältniss der Radien ist $r = 0,8\,R$.

Werthe von n	1,1231	1,2345	1,6490
Zugehörige Werthe von F	0,7859	0,7799	0,7694

Bleibt der Brechungscoefficient constant, während das Verhält- 173
niss der Radien sich ändert, so steigt die Differenz zwischen r und F, bis r ungefähr $\frac{1}{2}R$, und fällt nachher wieder, wenn $r < \frac{1}{2}R$. Aber auch hier sind die Veränderungen so gering, dass sie in den meisten Fällen vernachlässigt werden dürfen. Sie erreichen z. B. von $r = 0,8$ bis $r = 0,5$ kaum die Höhe von $0,007.R$. Zur Vergleichung mag auch hier eine kleine Uebersicht folgen, in welcher die Grösse $r - F$ (der Abstand der hellen Linie von der Wandung) für verschiedene Werthe von r gegeben ist. Als Brechungsverhältniss wurde $n = 1,649$ vorausgesetzt.

Werthe von r	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2
Zugehörige Werthe von $r - F$	0,0306	0,0365	0,0372	0,0345	0,0211

Ist der Hohlcylinder mit Luft gefüllt und von Wasser umgeben, 174
so nimmt die innere helle Linie nahezu die nämliche Stelle ein, wie in einer freien Luftblase; sie wird durch den Einfluss der Cylinderwandung nur um eine äusserst geringe Grösse dem Centrum näher gerückt. Es sei z. B. der absolute Brechungscoefficient der Cylinderwandung $= 1,4$, der des Wassers $= 1,3356$, dann ergeben sich für die Abstände F der Linie vom Centrum die nachstehend in erster Reihe aufgeführten Werthe, zu welchen als zweite Reihe die etwas

höheren hinzugefügt wurden, wie sie bei gleichem r sich in dem frei gedachten Luftcylinder herausstellen müssten. Alle Zahlenverhältnisse sind, wie bisher, in Bruchtheilen von R ausgedrückt.

	Abstand der hellen Linie vom Centrum.		
	$r=0,8$	$r=0,7$	$r=0,5$
Im Hohlcylinder .	0,5485	0,4792	0,3115
Im frei gedachten Luftcylinder . .	0,5501	0,48785	0,3442
Differenz	0,0022	0,0026	0,0027

Steigt der Brechungsindex der Cylindersubstanz auf 1,5, so rückt die helle Linie noch etwas weiter nach innen. Ihr Abstand reducirt sich alsdann, wenn $r=0,8\,R$, auf $0,5458\,R$; die als Differenz bezeichnete Grösse steigt dabei auf 0,0054. — Der Einfluss der Cylinderwandung auf die fraglichen Abstände bleibt also, wie aus den angeführten Beispielen hervorgeht, wohl in allen vorkommenden Fällen auf die dritte Decimale beschränkt; demnach beträgt die dadurch verursachte Verschiebung der Linie, so lange R kleiner als 100 Mik., weniger als 1 Mik. und kann füglich vernachlässigt werden. In diesem Falle lässt sich aus der Lage unserer Linie in der eingeschlossenen Luft der Radius r des Lumens und daher auch die Dicke der Wandung $(R-r)$ berechnen. Man hat nämlich nach Früherem für die freie Luftblase $F=0,68836.r$, folglich für den Hohlcylinder, wenn man als mittlere Verschiebung c. $0,00536.r$ in Rechnung bringt, $F=0,683.r$, woraus $r=\frac{F}{0,683}=1,464\,F$. Die Grösse F wird am genauesten durch directe Messung von $2F$, d. h. des Abstandes der beiderseitigen hellen Linien, bestimmt.

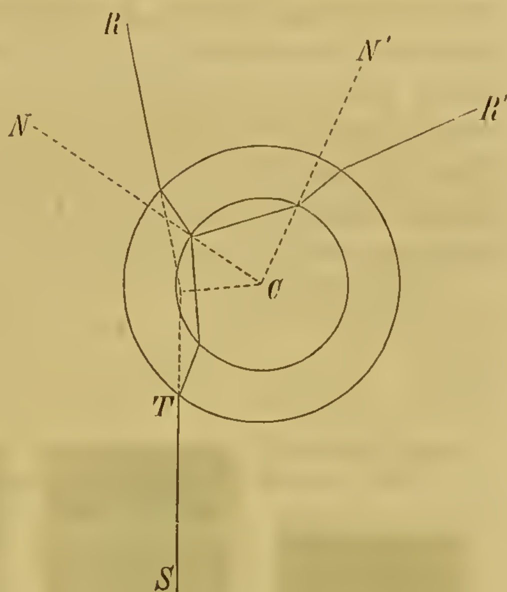
175 Die innere helle Linie liegt, ganz wie bei der Luftblase der innere Ring, dem Centrum näher, als jeder andere Punct, welcher auf dem nämlichen Wege beleuchtet wird. Innerhalb derselben kommt also (natürlich nur mit Rücksicht auf diesen Strahlengang) vollkommen dunkler Kernschatten, weiter nach aussen dagegen ein schwach erhellter Halbschatten zu Stande, der gegen die äussere helle Linie zu allmählich dunkler wird. Unter günstigen Verhältnissen treten im inneren Theil des Halbschattens noch weitere helle Linien hervor, deren Entstehung sich durch mehrmalige innere Reflexion erklärt.

176 Endlich sind noch die Strahlen in Betracht zu ziehen, welche ohne innere Reflexion das Lumen durchsetzen und also bloss eine

viermalige Brechung erfahren. Es ist von vorn herein klar, dass dieselben den mittleren Theil des Hohlcylinders erhellen, aber gegen die Ränder zu für unser Auge verloren gehen. Die Puncte, wo der Halbschatten beginnt und wo er in den Kernschatten übergeht, verändern natürlich je nach der Grösse der Oeffnungswinkel ω und δ, der Dicke der Wandung und dem Brechungsvermögen der verschiedenen Medien ihre Lage. Zur Bestimmung der letzteren durch eine allgemein gültige Formel führt folgende Betrachtung. Würde der von unten einfallende Strahl ST (Fig. 106), wie im vorhergehenden Falle, an der Innenwand reflectirt, so wäre der Ablenkungswinkel des nach R' ausfahrenden Strahls durch die Gleichung gegeben

$$2\varrho = 4\alpha''' + 2\alpha' - 2(\alpha'' + \alpha).$$

Durch den Umstand, dass die Reflexion unterbleibt, erleidet nun aber der Strahlengang dieselbe Modification, wie wenn in obiger Figur die Linie CN' mit dem unbeweglich damit verbundenen reflectirten Strahl um den Punct C wie ein Uhrzeiger nach links gedreht würde, bis CN' mit CN zusammenfiele. Führen wir diese Bewegung in Gedanken aus, so wird der Ablenkungswinkel 2ϱ um den Winkel $N'CN = 180^0 - 2\alpha'''$ grösser. Durch Addition dieses Werthes zu dem oben angeführten erhält man sonach den Ablenkungswinkel 2ϱ für den viermal gebrochenen Strahl und hieraus



Figur 106.

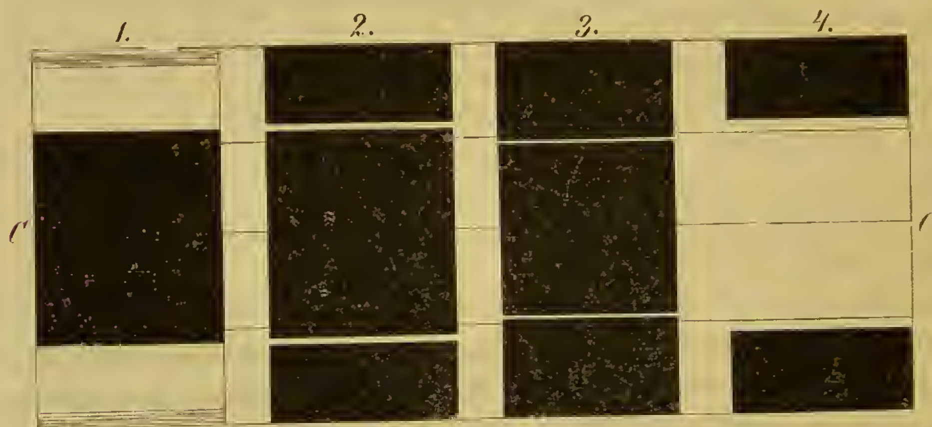
$$\varrho = 90^0 + \alpha''' + \alpha' - (\alpha'' + \alpha).$$

Die Richtung des ausfahrenden Strahls ist hiedurch für jede beliebige Neigung des einfallenden bestimmt. Sind daher die Oeffnungswinkel des Objectivs (ω) und der Blendung (δ) gegeben, so lassen sich die Grenzen des Kern- und Halbschattens in der Einstellungsebene berechnen. Man findet für die Abstände dieser Grenzlinien vom Centrum, wenn $R = 1$, $n = \frac{1,500}{1,3356}$, $\omega = 60^0$ und $\delta = 12^0$ gesetzt wird, die in nachstehender Uebersicht gegebenen Werthe.

r	Grenzlinien des Halbschattens.	Grenzlinien des Kernschattens.
0,8	0,862	0,947
0,5	0,557	0,57

In der Wirklichkeit liegen jedoch die Grenzlinien des Schattens, wenn die eben gemachten Voraussetzungen annähernd zutreffen, stets etwas weiter nach innen. Es rührt diess offenbar daher, dass die Intensität der Grenzstrahlen, für welche z. B. α''' 80° und darüber erreichen kann, durch die wiederholte Reflexion an den brechenden Flächen bedeutend geschwächt und daher für das beobachtende Auge früher als nach der Theorie Null wird. Auf diese Weise wird es erklärlich, dass die innere helle Linie auch bei ziemlich starker Vergrösserung noch in den Randschatten des Hohlraums fällt.

Um die Wirkung der vier verschiedenen Strahlensysteme zu veranschaulichen, wurde in Fig. 107 die Vertheilung von Licht und Schatten für jeden einzelnen Strahlengang bildlich dargestellt, und



Figur 107.

zwar für den Fall, dass $R=2r$. Da Kern- und Halbschatten beinahe zusammenfallen, so wurden der Einfachheit wegen nur die Grenzlinien des Kernschattens gezogen und zur Orientirung die äusseren und inneren Umrisse der Cylinderwandung und die Cylinderaxe CC als durchgehende Linien hinzugefügt.

177 Betrachten wir den Hohlcylinder, ohne Rücksicht auf die Einstellungsebene, einfach als brechenden Apparat, so wirkt er auf die Randstrahlen, welche nicht in das Lumen eindringen, wie eine Kugel von gleicher Dichtigkeit, auf die mittleren Strahlen dagegen, welche

den Hohlraum durchsetzen, wie eine Zerstreuungslinse. Er entwirft daher von Gegenständen, die sich im Spiegel reflectiren, gleichzeitig reelle und virtuelle Bilder, welche beide für das Auge wahrnehmbar werden, sobald man den Tubus auf das entsprechende Niveau einstellt. Die Lage des reellen Brennpunctes ist natürlich annähernd dieselbe, wie bei der Kugel; diejenige des virtuellen lässt sich aus den früher entwickelten Formeln für die optischen Constanten brechender Medien bestimmen. Bezeichnet man die negative Brennweite, von der Axe des Cylinders an gerechnet, mit F, den absoluten Brechungsindex mit n und die Radien wie bisher mit R und r, so ergeben sich unter den nachstehend angeführten Voraussetzungen die beigesetzten Werthe.

Medium.		Werthe von F wenn $n=1,5$.	Werthe von F wenn $n=1,6$.
$r=0,5$	In Wasser	$3,314R=6,628.r$	$2,189R=4,378.r$
	In Luft	$1,5R=3.r$	$1,333R=2,666.r$
	Mit Luft gefüllt, umgeben von Wasser	$0,571R=1,142.r$	$0,45.R=0,9.r$
$r=0,1$	In Wasser	$0,363R=3,63.r$	$0,238R=2,38.r$
	In Luft	$0,166\ldots R=1,66.r$	$0,148R=1,48.r$

Diese Uebersicht gestattet freilich nur eine sehr oberflächliche Orientirung über die Lage des Brennpunctes in Hohlcylindern. Sie hat auch nur den Zweck, durch Beispiele zu zeigen, welchen Einfluss im Allgemeinen das Verhältniss der Radien und das umgebende Medium auf die Brennweite üben. Man begreift übrigens leicht, dass wenn r gegen R sehr klein wird, die Krümmung der Cylinderoberfläche nicht mehr berücksichtigt zu werden braucht; der optische Effect ist dann annähernd derselbe, welchen ein Hohlraum von gleichem Halbmesser in einer homogenen Substanz von der Dichtigkeit der Cylindermembran und mit ebenen Grenzflächen nach oben und unten hervorbringen würde. Ebenso ist einleuchtend, dass wenn das Verhältniss $r:R$ sich der Einheit nähert, die Brennweite immer grösser und zuletzt unendlich wird. Dabei bleibt das virtuelle Bild natürlich nur bis zu einer gewissen Grenze, jedoch bei absolut kleinen Werthen von r und R noch an ziemlich dünnwandigen Röhren mikroskopisch wahrnehmbar.

Werden die Brennweiten für die oben zusammengestellten Fälle auf experimentellem Wege bestimmt, indem man die Verschiebung der Mikroskopröhre mit Hülfe eines zweiten, wagrecht gestellten Mikroskops misst, so erhält man auch hier durchgehends kleinere Werthe, als die berechneten, weil die beobachtete Brennweite, wie bereits oben (Nr. 165) hervorgehoben wurde, sich stets nur auf Randstrahlen bezieht, welche je nach der Stärke und Eigenthümlichkeit des Objectivs mehr oder weniger (z. B. c. 15 – 20^0) gegen die Axe geneigt sind.

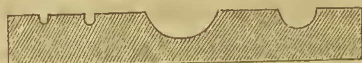
Da das Bild eines Hohlcylinders, wie jedes reelle oder virtuelle Bild, als Lichtquelle betrachtet werden kann, so wird die Einstellung auf die Ebene desselben in jedem achromatischen Instrumente ein farbloses mikroskopisches Bild liefern, eine höhere oder tiefere Einstellung dagegen die bekannten rothen und blauen Farbensäume hervorrufen. Demzufolge erscheinen kleine Hohlräume, welche ein Medium von geringerem Brechungsvermögen einschliessen, wie die Lumina der Bastfasern, die Kerne der Stärkekörner etc., wenn wir ein chromatisch unterverbessertes Mikroskop voraussetzen, bei tieferer Einstellung farblos und hell, bei höherer röthlich und zuletzt dunkel. Die wahre mittlere Einstellung auf das Centrum des Hohlraumes liegt unter allen Umständen zwischen diesen beiden Extremen und liefert daher, wenn die Dimensionen klein genug sind, ein röthliches Bild.

II.

Objecte von unregelmässiger Form.

1. Membranen mit kleinen Vertiefungen oder Löchern.

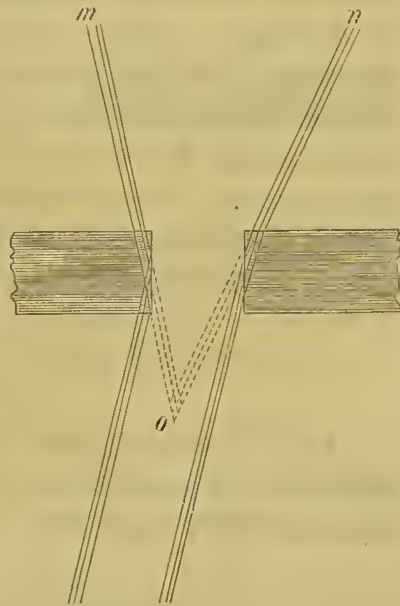
178 Es ist ohne Weiteres klar, dass kleine schüsselförmige oder rinnenförmige Vertiefungen, wie sie in Fig. 108 dargestellt sind, wie Concavlinsen wirken und folglich bei entsprechender Senkung des Tubus das virtuelle Bild der Blendung zeigen. Und zwar müsste dasselbe, insofern nicht seine Kleinheit ein Hinderniss bildet, sowohl dem unbewaffneten als bewaffneten Auge deutlich erscheinen. Sobald aber die Form der Vertiefung sich wesentlich ändert, z. B. prismatisch oder cylindrisch wird, so dass sie nach unten



Figur 108.

eine ebene Grenzfläche erhält, so verschwindet das Bild für das blosse Auge, während es im Mikroskop wegen des ungleich grösseren Oeffnungswinkels immer noch wahrnehmbar bleibt. Man überzeugt sich hievon, wenn man eine Salzlösung (Kochsalz, Bittersalz u. a.) auf dem Objectträger ausbreitet und an der Luft eintrocknen lässt. Es bilden sich dann stellenweise (zuweilen namentlich sehr schön nach Zusatz von wasserhaltigem Alkohol) grössere homogene Lamellen oder ausgedehnte Krusten mit einer Unzahl von kleinen porenartigen Löchern oder Vertiefungen von der verschiedensten Form, an andern Stellen mit Spalten, Rinnen u. s. w. Bei den meisten derselben kommt das Bild der Blendung, der Fensterrahmen etc., wenn man den Focus etwas unter die mittlere Einstellungsebene senkt, mit ziemlicher Schärfe zum Vorschein, oft ebenso deutlich als bei einer etwas abgeplatteten Luftblase.

Wie diese Bilder zu Stande kommen, ist aus Fig. 109 ersichtlich. 179
Der Rand der Oeffnung oder Vertiefung bewirkt einerseits eine Ablenkung der von einem entfernten Puncte ausgehenden und folglich annähernd parallel einfallenden Strahlen nach *n*, andererseits eine Herumlenkung derselben durch Totalreflexion nach *m*. Die beiden Bündel scheinen also nach dem Durchgang durch das Object von dem kleinen Raume *o* zu kommen, in welchem sie sich rückwärts verlängert kreuzen; sie entwerfen in *o* das virtuelle Bild der entfernten Lichtquelle. Rückt die letztere weiter nach rechts, so macht auch ihr Bild eine Bewegung in gleichem Sinne, wie diess überhaupt bei virtuellen Bildern der Fall ist.



Figur 109.

Das Zustandekommen des Bildes hängt übrigens keineswegs von der Regelmässigkeit der brechenden Flächen ab, wie sie in unserer Figur vorausgesetzt wurde. Es ist ziemlich gleichgültig, ob die gebrochenen Strahlen genau parallel verlaufen, oder ob sie etwas divergiren oder convergiren, da hierdurch bloss der Raum, in welchem ihre Verlängerungen sich kreuzen, etwas grösser oder kleiner wird. Er bleibt aber immerhin so klein, dass er gegen die grösseren Ab-

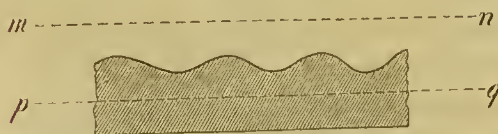
weichungen, welche das Deckplättchen verursacht, nicht in Anschlag kommt und dem beobachtenden Auge als Punct erscheint.

Selbst wenn die einfallenden Strahlenbündel nur durch den einen Rand der Oeffnung zum Auge gelangen, sich also rückwärts verlängert nicht kreuzen, entsteht aus demselben Grunde, wie bei Lichtstrahlen, die durch eine kleine Oeffnung gehen, ein undeutliches Bild. Es nimmt aber in diesem Falle keine bestimmte Stelle ein, sondern erscheint nur um so grösser, je tiefer man einstellt. Bei günstiger Einstellung müssen zu diesem Bilde sogar Strahlen beitragen, welche die Oeffnung ohne Brechung durchsetzen.

180 Auf welchem Wege nun auch das Bild zu Stande komme, ob es mehr oder weniger verwischt oder scharf gezeichnet erscheine, immer wird die Einstellung auf ein höheres oder tieferes Niveau dieselben Erscheinungen hervorrufen, die wir schon beim virtuellen Bild der Luftblase kennen gelernt haben. Bei Hebung des Tubus wird die Mitte roth und der Rand bläulich erscheinen, während eine Senkung unter den virtuellen Brennraum die umgekehrte Anordnung der Farben bedingt — jedoch selbstverständlich Beides nur unter der Voraussetzung, dass das Objectiv unterverbessert sei. Da diess bei den meisten Mikroskopen der Fall ist, so sehen kleine Poren, Spalten, rinnenförmige Vertiefungen u. dgl., wenn man ungefähr auf ihre Mitte einstellt, immer röthlich aus und zwar je nach der Eigenthümlichkeit des Instruments mehr oder weniger. Auch die bläuliche Einfassung ist trotz ihrer geringen Breite in manchen Fällen bemerkbar.

2. Membranen mit einer ebenen und einer wellenförmigen Grenzfläche.

181 Die erhabenen Stellen solcher Membranen (Fig. 110) wirken offenbar wie Sammellinsen, die Vertiefungen wie Zerstreuungslinsen. Demnach muss die Licht- und Farbenvertheilung im Allgemeinen folgende sein. Bei höchster Einstellung (*mn*) auf die reellen Bilder der Vorsprünge erscheinen diese hell und die Vertiefungen je nach der Krümmung dunkel oder röthlich. Senkt man den Tubus, so erhalten die Vorsprünge einen bläulichen Ton, und die Vertiefungen bleiben so lange roth, bis man die Ebene (*pq*) ihrer virtuellen Bilder erreicht hat. Bei noch tieferer Einstellung werden diese letzteren bläulich; die röthlichen Farben-

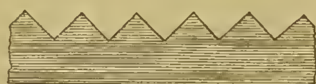


Figur 110.

säume, die sie umschliessen, nehmen dann — zu je zweien verschmolzen — die Stelle der Erhabenheiten ein, so dass diese nun gerade so aussehen, wie bei höherer Einstellung die Vertiefungen. Welche Farbentöne bei einer gegebenen Einstellung alterniren, hängt natürlich mit von der Krümmung der Oberfläche ab.

Springen die Erhabenheiten sehr stark und in der Art vor, dass sie mit etwas verschmälerter Basis aufsitzen, so kommt zu der eben erwähnten Erscheinung noch die durch Reflexion hervorgerufene hinzu, wie man sie bei kleinen Körperchen, Quecksilbertröpfchen etc. beobachtet, und wovon weiter unten ausführlicher die Rede sein wird. So z. B. bei manchen Spiral- und Ringgefässen, bei dendritischen Krystallanflügen (die wie Verdickungen des Objectträgers wirken), Diatomaceenpanzern etc. Bei allen diesen Objecten kommt es häufig vor, dass einzelne Fasern, auch wenn sie ganz isolirt sind, bei tieferer Einstellung röthlich erscheinen.

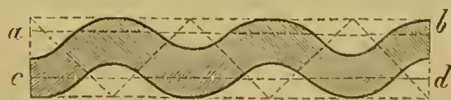
Die optische Wirkung der Erhabenheiten und Vertiefungen bleibt für das Mikroskop auch dann noch annähernd dieselbe, wenn die Wellenform der Grenzfläche in einen scharfwinkligen Zickzack (Fig. 111) übergeht; denn vorspringende Kanten geben immer reelle, einspringende virtuelle Bilder. Hieher gehörige Formen kommen indess in pflanzlichen Organismen nur selten vor; dagegen beobachtet man sie öfter bei Krystallanflügen, z. B. an jenen Ketten von (unvollständigen) Kochsalzkrystallen, welche ungefähr das Bild eines Festungsplanes gewähren.



Figur 111.

3. Membranen mit parallel-wellenförmigen Grenzflächen.

Eine wellig gefaltete Membran, wie sie in Fig. 112. im Durch- 182
schnitt dargestellt ist, lässt sich in rinnenförmige Stücke von Hohlcylindern zerlegen, welche abwechselnd ihre convexe und concave Seite nach oben kehren. In der Figur ist diese Zerlegung durch gerade Linien, welche die Krümmungscentren verbinden, sowie durch verschiedene Schraffirung der Membranstücke veranschaulicht. Da nun der Hohlcylinder sich optisch wie eine Concavlinse verhält, so wirken auch solche Rinnen stets zerstreuend auf das einfallende Licht. Und zwar fallen die beiden Hauptpuncte mit dem Krümmungscentrum zusammen, wenn



Figur 112.

das umgebende Medium Luft ist, rücken dagegen auseinander und nähern sich zugleich den brechenden Flächen, wenn das umgebende Medium Wasser oder eine andere Flüssigkeit ist. Hierüber und über die Grösse der Brennweiten giebt folgende Zusammenstellung einige berechnete Beispiele. Mit e und e' sind die Abstände der Hauptpuncte vom Krümmungscentrum, mit φ die Brennweite, mit r der Halbmesser der stärkern Krümmung und endlich mit n der absolute Brechungscoefficient bezeichnet. Als Maasseinheit ist der Radius der schwächeren Krümmung (R) und als umgebendes Medium Wasser mit dem Index $^4/_3$ angenommen.

r	n	e	e'	φ
$^1/_2$	1,5	$^1/_4$	$^1/_8$	6,75
	1,6	$^1/_4$	$^1/_8$	4,5
$^1/_{10}$	1,5	$^1/_4$	$^1/_{40}$	0,75
	1,6	$^1/_4$	$^1/_{40}$	0,50

Die Hauptebenen der rinnenförmigen Membranstücke, von welchen die virtuellen Bilder gleich weit abstehen, liegen also nicht in demselben Niveau. Sie fallen z. B. unter den in Fig. 112 dargestellten Verhältnissen für die nach oben concaven Rinnen mit der Linie *ab*, für die damit alternirenden mit *cd* zusammen. Die virtuellen Bilder selbst liegen somit abwechselnd höher und tiefer, und da sie wie mikroskopisch kleine Lichtquellen wirken, so erklären sich hieraus die verschiedenen Farben, welche man bei höherer und tieferer Einstellung beobachtet. Wir wollen hier nur den einen Fall hervorheben, in welchem das Instrument auf eine Ebene eingestellt ist, die höher als die unteren und tiefer als die oberen virtuellen Bilder liegt. Letztere erscheinen alsdann bläulich, erstere röthlich.

183 4. Abwechselnd dichte und wasserreiche Schichten.

Wasserreiche Schichten, welche mit dichteren alterniren, wirken auf einer Durchschnittsansicht wie verdünnte Stellen oder Spalten in einer homogenen Substanz. Die Wirkungen sind sogar, wie leicht einzusehen, vollkommen aequivalent, wenn das Brechungsverhältniss zwischen dichteren und weicheren Schichten dasselbe ist, wie zwischen der homogenen Substanz und der die Spalte ausfüllenden Flüssigkeit. Das mikroskopische Bild, das wir beobachten, zeigt daher,

ganz wie bei faserförmigen Verdickungen, abwechselnd bläuliche und röthliche Linien, welche den nicht genau in die Einstellungsebene fallenden virtuellen und reellen Bildern der Schichten entsprechen. Der Wechsel der Helligkeit, welcher durch Veränderung der Objectdistanz an bestimmten Bildpuncten hervorgerufen wird, sowie die Stärke der Schatten bieten dem geübteren Auge wichtige Anhaltspuncte, die vorkommenden Dichtigkeitsverschiedenheiten annähernd zu schätzen. Ob aber in einem gegebenen Falle wirkliche Spalten oder bloss wasserreichere Schichten vorhanden seien, das hienach ohne Weiteres zu unterscheiden, ist eine theoretische Unmöglichkeit.

5. Erhabenheiten und Vertiefungen im Gegensatze zu dichten und weichen Schichten.

Da die Erhabenheiten, wie bereits hervorgehoben, optisch genau 184
so wirken, wie entsprechende Verdichtungen der Substanz, so ist die Entscheidung der Frage, ob eine feine Zeichnung, wie sie bei Diatomeen, an gestreiften Zellmembranen etc. vorkommt, auf Dichtigkeits- oder auf Formenverhältnissen beruhe, durch die blosse Betrachtung der Gegenstände in Wasser nicht möglich. Es giebt indessen ein Mittel, welches in den meisten Fällen sicher zum Ziele führt. Bringt man nämlich das betreffende Object in ein Medium, welches das Licht stärker bricht, als die dichtesten Stellen des Objects, z. B. in Schwefelkohlenstoff, so bleibt die Zeichnung im Wesentlichen unverändert, wenn sie durch Dichtigkeitsverschiedenheiten bedingt wird; sie ändert dagegen ihren Charakter, wenn die Ursache in den Unebenheiten der Oberfläche liegt, und zwar dergestalt, dass das Verhältniss von Licht und Schatten sich umkehrt, wie auf der negativen photographischen Platte. Die Poren einer Membran sehen alsdann aus wie warzenförmige Erhabenheiten, faserförmige Verdickungen wie Spalten, und umgekehrt; man könnte das ganze Bild ebenfalls als negatives bezeichnen.

Die Erklärung dieser Erscheinungen liegt nahe. Ist das Object von ebenen Flächen begrenzt, so ist es auch der umgebende Schwefelkohlenstoff. Der letztere wirkt daher wie Glasplatten von entsprechender Dicke; er hebt die Objectpuncte, ohne ihre Bilder zu ändern. Finden sich dagegen Vertiefungen oder Erhabenheiten auf der zu- oder abgekehrten Seite des Objects, so bildet sich an der Berührungsfläche des umgebenden Mediums das entgegengesetzte Relief, und da das letztere dichter ist, so bedingt es die Lichtvertheilung im mikro-

skopischen Bilde. Das Object selbst verhält sich optisch wie ein Hohlraum von gleicher Form in einer brechenden Substanz.

Bei Anwendung dieses Verfahrens muss natürlich ein Austrocknen des Objects aufs Sorgfältigste vermieden werden. Weiche und dichte Schichten müssen von Wasser durchdrungen sein, weil sonst die letzteren in Folge des stärkeren Verlustes der wasserreichen Particen nach aussen vorspringen und dadurch die optische Wirkung stören. Im vollkommenen trockenen Zustande ist selbstverständlich keine Schichtung vorhanden.

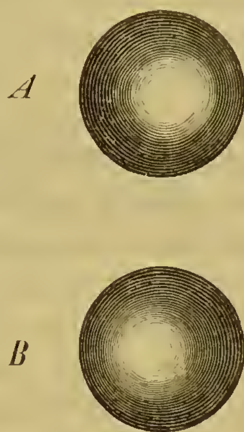
6. Das Sehen durch stereoskopische binoculäre Mikroskope.

185 Die merkwürdige Täuschung, welche stereoskopische Vorrichtungen jeder Art hervorrufen, ist zum guten Theil eine rein psychische Erscheinung, die wir hier nicht weiter zu verfolgen haben. Wir stellen uns bloss die physikalische Frage, wie die zwei Bilder, welche das binoculäre Mikroskop den beiden Augen darbietet, sich von einander unterscheiden; ob sie in Hinsicht der Licht- und Schattenvertheilung in einem ähnlichen Verhältniss zu einander stehen, wie etwa die photographischen Aufnahmen der käuflichen Stereoskope. Ist das letztere wirklich der Fall, so reiht sich die in Frage stehende Wahrnehmung andern bekannten Erscheinungen an, und wir können die weitern Betrachtungen darüber der Physiologie überlassen.

Wenn wir uns die dioptrische oder katoptrische Spaltung der Strahlenbündel noch einmal vergegenwärtigen (vgl. Fig. 11—13), so leuchtet sogleich ein, dass dem einen Auge ein Bild geboten wird, welches von der rechten, dem andern ein solches, welches von der linken Hälfte des Objectivs entworfen ist. Und zwar liegen die bilderzeugenden Objectivhälften bei der dioptrischen Spaltung stets auf der nämlichen Seite der Medianebene, wie das beobachtende Auge, bei der katoptrischen unter Umständen, wenn z. B. gleichseitige Prismen nach Nachet in Anwendung kommen, auf der entgegengesetzten. Je nachdem das eine oder das andere der Fall ist, muss natürlich auch der Eindruck, den die Verschmelzung der beiden Bilder im Bewusstsein hervorruft, ein verschiedener sein.

In welcher Weise nun aber die von der rechten und linken Objectivhälfte entworfenen Bilder differiren, lässt sich im Allgemeinen sowohl durch Rechnung, als auf experimentellem Wege mit dem gewöhnlichen Mikroskop entscheiden, indem man nach einander die eine und andere Hälfte des Objectivs zudeckt. Es sei z. B. ein kugelförmiges Stärkekorn oder ein Oeltropfen als Object gegeben, dann

wird der Randschatten, welcher im gewöhnlichen Bilde bei gerader Beleuchtung überall gleich breit erscheint, durch Ausschliessung der einen Objectivhälfte auf der entsprechenden Seite vorwiegend, so zwar, dass die Lichtstelle im Bilde mit dem wirksamen Theil der Linsen auf der nämlichen Seite der Medianebene liegt. Dieselbe Erscheinung muss ganz allgemein bei jedem Gegenstande eintreten, welcher gleich den erwähnten wie eine Sammellinse wirkt. Ist dagegen das Object eine Luftblase oder ein Hohlraum, überhaupt ein Gegenstand, der sich wie eine Zerstreuungslinse verhält, so bewegt sich die Lichtstelle unter gleichen Voraussetzungen zwar ebenfalls seitwärts, aber in entgegengesetzter Richtung. Die zwei Bilder, welche das binoculäre Mikroskop entwirft, zeigen also in beiden Fällen eine Licht- und Schattenvertheilung, wie sie in *A* und *B* (Fig. 113) dargestellt ist. Welches von beiden dem rechten, welches dem linken Auge dargeboten wird, hängt bei gegebenem Object von der optischen Einrichtung ab, welche die Spaltung der Strahlenbündel bewirkt. Die Gruppirung von *A* und *B* mit Rücksicht auf Rechts und Links bedingt aber offenbar den stereoskopischen Effect*).



Figur 113.

186 Gehen wir nun in Ermangelung eigener Beobachtungen von den übereinstimmenden Angaben Harting's und Nachet's aus, wonach die von Letzterem construirten binoculären Mikroskope die Erhöhungen und Vertiefungen als solche darstellen, so liegt der Schluss nahe, dass andere Mikroskope dieser Art, durch welche die Bilder in permutirter Anordnung gesehen werden (*BA* statt *AB*), den entgegengesetzten Eindruck hervorrufen, folglich die Erhabenheiten als Vertiefungen zeigen und umgekehrt. Diese pseudoskopische Erscheinung wurde auch in der That, wie uns Harting berichtet, sowohl von Riddell bei seinem katoptrischen, als von Wenham bei seinem dioptrischen binoculären Mikroskop »manchmal« beobachtet**). Die Einschränkung, welche in dem Worte »manchmal« liegt, kann nicht auffallen, da die Unterscheidung der Erhabenheiten von Vertiefungen

*) Dabei ist nicht zu vergessen, dass eine halbe Umkehrung durch einmalige Reflexion denselben Effect hervorbringt, wie das Wechseln der Bilder.

**) Harting, Das Mikr. p. 195 und 775.

sich keineswegs nur auf die Vertheilung von Licht und Schatten stützt, sondern auch durch die ungleiche Farbenzerstreuung wesentlich erleichtert wird. Kleine Höhlungen und Spalten erscheinen z. B. röthlich und werden diese Farbe auch bei der stereoskopischen Wahrnehmung beibehalten. Uebrigens kann Näheres hierüber nur durch Beobachtung festgestellt werden.

Wie Harting zu der Ansicht gelangte, dass die Tiefe des Gesichtsfeldes bei der stereoskopischen Wahrnehmung ganz besonders in Betracht komme, vermögen wir nicht einzusehen. Unseres Erachtens kommt sie ganz und gar nicht in Betracht. Wie bei den käuflichen Stereoskopen zwei flächenhafte Ansichten zu einem stereoskopischen Bilde vereinigt werden, so müssen auch die Bilder des binoculären Mikroskops den Eindruck der Körperlichkeit hervorrufen, selbst wenn die Tiefe des Gesichtsfeldes Null wäre.

Endlich wollen wir noch auf einen Punct aufmerksam machen, der bisher, wie es scheint, ganz übersehen wurde. Erhabenheiten und Vertiefungen lassen sich bei durchfallendem Lichte stets durch Dichtigkeitsdifferenzen ersetzen, welche genau dieselbe optische Wirkung hervorbringen. Denken wir uns also eine Membran von durchweg gleichmässiger Dicke, aber mit dichteren und weicheren Stellen, so müssen die ersteren im stereoskopischen Bilde convex, die letzteren concav erscheinen und folglich eine Täuschung hervorrufen, welche den combinirenden Verstand irre leitet. Aus diesem Grunde halten wir es unter allen Umständen für gerathener, wissenschaftliche Untersuchungen mit dem gewöhnlichen monoculären Mikroskope anzustellen.

III.

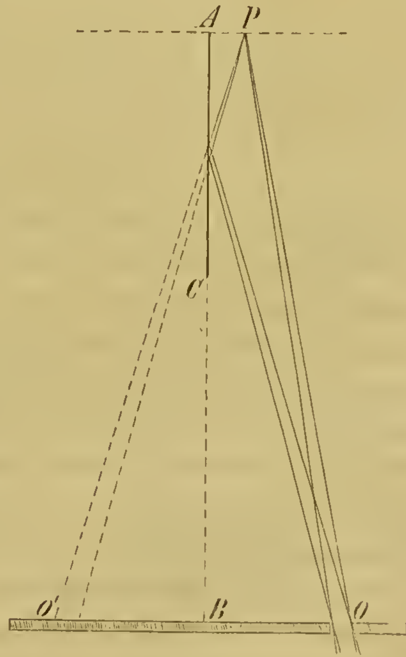
Interferenzerscheinungen.

187 Die Interferenzlinien, welche man am Rande dunkler Körper, Luftblasen etc. beobachtet, wurden bisher bekanntlich für Beugungserscheinungen erklärt. Man bedachte nicht, dass wenn auch die Bedingungen der Beugung gegeben wären, was in den meisten Fällen nicht der Fall ist, die resultirenden Interferenzen sich der mikroskopischen Wahrnehmung doch stets entziehen müssten. Denn da die einfallenden Strahlen nicht parallel verlaufen, sondern einen mehr oder minder geöffneten Lichtkegel bilden, so werden die dunkeln Linien, welche bestimmten Neigungen entsprechen, stets wieder durch

Strahlen anderer Neigung erhellt, so dass für das beobachtende Auge eine gleichmässige Beleuchtung resultirt. Man wird auch in allen Fällen, wo Interferenzlinien wahrnehmbar sind, sich vergeblich bemühen, die Annahme einer Beugung durch eine auf Messungen basirte Construction zu veranschaulichen, sondern im Gegentheil immer die Ueberzeugung gewinnen, dass Factoren, welche auf Beugungsphänomene modificirend einwirken, hier entweder keinen oder einen ganz andern Einfluss üben; dass die beobachteten Abstände der dunkeln Linien mit den durch Construction oder Berechnung gefundenen nicht stimmen u. s. w. Dagegen unterliegt es keiner Schwierigkeit, die verschiedenen hieher gehörigen Erscheinungen auf Interferenzen anderer Art zurückzuführen.

1. Interferenz des directen Lichtes mit reflectirtem.

Stellt man eine ebene spiegelnde Fläche *AC* (Fig. 114), z. B. ein 188
Deckgläschen oder die Randfläche eines Metallstückes, unter das Mikroskop und lässt durch eine kleine etwas seitlich gelegene Spalte *O* Licht auf dieselbe fallen, so treten am Rande der Spiegelfläche und parallel mit derselben abwechselnd helle und dunkle Linien auf, welche bei hinreichend starker Vergrösserung Spectralfarben zeigen. Dieselben entstehen durch Interferenz des directen Lichtes mit dem reflectirten. Die Spalte *O* und ihr Spiegelbild *O'* sind nämlich als zwei Lichtquellen zu betrachten, deren Wellensysteme nach bekannten Gesetzen sich stellenweise verstärken und an andern Stellen aufheben. Ein beliebiger Punct *P* der Einstellungsebene, die hier den auffangenden Schirm vertritt, wird hell erscheinen, wenn die von den beiden Lichtquellen kommenden Strahlen in diesem Puncte die nämliche Phase besitzen, dunkel dagegen, wenn die Schwingungszustände der Strahlen entgegengesetzt sind. Da nun der reflectirte Strahl durch die Reflexion selbst um eine halbe Wellenlänge verzögert wird, so ist die erstere Bedingung mit einem Gangunterschied



Figur 114.

von 1, 3, 5, 7 . . . . , die letztere mit einem Gangunterschied von 2, 4, 6 . . . . halben Wellenlängen gleichbedeutend. Der Abstand der ersten dunkeln Linie von der Spiegelfläche entspricht also einer Lage des Punctes P, in welcher dessen Entfernung von der Spalte O um eine Wellenlänge kleiner ist, als von dem Spiegelbild O'.

Bezeichnet man den Abstand AB der Einstellungsebene von der Spalte mit a, den Abstand BO der letzteren von der Ebene des Spiegels mit d, und den Winkel BAO mit φ; zieht man ferner von den Puncten O und O' concentrische Kreise (Fig. 115), welche den Lichtwellen entsprechen, und zwar so, dass die punctirten Bogen die Wellenthäler und die ausgezogenen die Wellenberge darstellen (wobei die durch die Reflexion verursachte Verzögerung um eine halbe Wellenlänge zu berücksichtigen ist), so ergeben sich folgende Beziehungen. Das Dreieck AQP, dessen Scheitel P der ersten dunkeln Linie entspricht und das wegen der Kleinheit der Bogen AP und QP als geradlinig betrachtet werden darf, ist dem Dreieck $AO'O$ ähnlich. Zieht man also ein Perpendikel PR, welches den Abstand des Punctes P von der Spiegelfläche angiebt, so ist auch das Dreieck RQP ähnlich dem Dreieck ABO und man hat $PR : RQ = a : d$, folglich $PR = RQ \cdot \frac{a}{d}$ oder da $PR = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{1}{\cos\varphi}$, wenn λ eine Wellenlänge bezeichnet,

Figur 115.

$$PR = \frac{a}{d} \cdot \frac{\lambda}{2\cos\varphi} .$$

Dieser Ausdruck gestattet in allen Fällen, wo es sich um mikrometrische Messungen handelt, noch die Vereinfachung, dass $\cos\varphi = 1$ ge-

setzt werden kann, ohne dass der dadurch begangene Fehler messbar wäre. Man hat alsdann

$$PR = \frac{a}{2d} \lambda \; .$$

Die folgenden Kreuzungspuncte, welche der zweiten, dritten, vierten .... dunkeln Linie entsprechen, stehen ebensoweit von dem unmittelbar vorhergehenden ab, wie der erste von der Spiegelfläche. Sie liegen sämmtlich auf einem von B aus durch P gezogenen Kreisbogen, der jedoch bei der Kleinheit der in Betracht kommenden Abstände als gerade Linie zu betrachten ist und folglich durchgehends in die Einstellungsebene fällt. Die Interferenzlinien erscheinen demnach, wenn man sie in homogenem Lichte beobachtet, sämmtlich gleichweit von einander entfernt und zwar um die Grösse $\frac{a}{2d} \lambda$. Sie rücken also um so näher, je grösser φ d. h. je weiter die Spalte von der Spiegelebene entfernt wird, und zeigen, wenn $d = \frac{1}{2} a$, nur noch einen gegenseitigen Abstand von einer Wellenlänge.

Mit diesen theoretischen Ableitungen stimmen die Messungen vollkommen überein. In einem gegebenen Fall war z. B. $d = 2{,}75$ m.m., $a = 30$ m.m., der Abstand der Linien im weissen Licht 3,1 Mik.; die Rechnung ergab für die Wellenlänge $\lambda = 0{,}567$ Mik., welcher Werth ziemlich genau den mittleren Strahlen entspricht. 189

Die prismatischen Farben der Interferenzlinien sind natürlich in Wirklichkeit immer so geordnet, dass das Violett der Spiegelfläche zugekehrt, das Roth davon abgekehrt ist. Sie erscheinen aber unter dem Mikroskop nur dann so, wenn dasselbe achromatisch oder überverbessert ist, während ein unterverbessertes Instrument die Ordnung der Farben umkehrt oder doch wenigstens deren Intensität schwächt. Dabei wird man gewöhnlich beobachten, dass der Einfluss der chromatischen Abweichung nicht für alle Linien denselben Grad erreicht, indem die einen oft noch die ursprüngliche, die andern bereits die umgekehrte Farbenfolge zeigen. Es rührt diess daher, dass die Neigung der Lichtbündelpaare, welche das mikroskopische Bild entwerfen, für jede folgende Interferenzlinie etwas verändert wird.

Ist die spiegelnde Fläche sphärisch gekrümmt, so erhält der 190
Winkel φ, welchen die reflectirten Strahlen mit der Spiegelebene, oder was hier dasselbe ist, mit der entsprechenden Tangentialebene bilden, für jede folgende Interferenzlinie einen grössern Werth. In Fig. 116 ist z. B. AA die Spiegelebene, welche dem Punct a, BB diejenige, welche dem Punct b entspricht; φ und φ' sind die zuge-

hörigen Neigungswinkel der einfallenden Strahlen. Dem entsprechend werden die Abstände der dunkeln Linien um so kleiner, je grösser ihre Entfernung von der spiegelnden Fläche. Man beobachtet diess z. B. an Luftblasen, Quecksilbertropfen und anderen reflectirenden Körpern, und zwar besonders deutlich, wenn man statt der gewöhnlichen kreisförmigen Blendungsöffnung eine spaltenförmige in geeigneter Entfernung vom Object langsam hin und her bewegt, um dadurch die günstigste Lage im Verhältniss zu den reflectirenden Flächen zu finden.

Figur 116.

Auf die eben angegebene Weise lassen sich auch die Linien, welche man hie und da auf Durchschnitten durch Gewebe (z. B. Kork) den Wandungen entlang verlaufen sieht, sehr schön zur Erscheinung bringen. Die Zu- und Abnahme ihrer Abstände je nach der Neigung der einfallenden Lichtstrahlen beweist, dass sie zu den im Vorhergehenden besprochenen Interferenzerscheinungen gehören.

2. Interferenz des gebrochenen Lichtes mit reflectirtem.

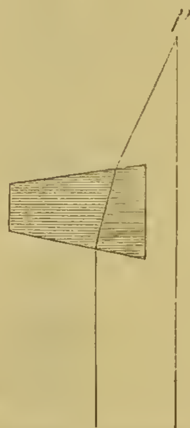
191 Ist *pqrs* (Fig. 117) der Durchschnitt eines brechenden Körpers, z. B. eines Krystalls, so werden die von unten parallel einfallenden Lichtstrahlen x und y an den Flächen qs und pr gebrochen und der letztere überdiess von der schief stehenden Randfläche reflectirt. Ein in der Einstellungsebene MN liegender Punct o wird daher gleichsam von zwei Lichtquellen a und b beleuchtet, deren Lage durch die Gesetze der Brechung und der Reflexion bestimmt ist. Die Möglichkeit der Interferenz ist dadurch gegeben, und es wäre ein Leichtes, für irgend einen

Figur 117.

gegebenen Fall die Abstände der Interferenzlinien zu berechnen. Für die Praxis hätte jedoch die Ausführung einer solchen Rechnung keinen besondern Werth, da die erforderlichen Data sich nur selten durch directe Beobachtung bestimmen lassen, hier also willkürlich festgestellt werden müssten. Soviel ist indess ohne Weiteres klar, dass die Interferenzlinien, von oben gesehen, sich auf die Fläche *pr* projiciren und dass ihre gegenseitigen Abstände um so kleiner werden, je grösser die Entfernung der Lichtquelle (Blendung) von der Ebene der reflectirenden Fläche.

3. Interferenz des gebrochenen und directen Lichtes.

Die Herumlenkung einfallender Strahlen nach einem direct be- 192
leuchteten Puncte p der Einstellungsebene (Fig. 118) kann ebensogut durch Brechung als durch Reflexion vermittelt werden, und da der gebrochene Strahl stets einen grössern Weg zurücklegt als der directe, so muss auch in diesem Fall Interferenz stattfinden. Die Entscheidung, ob gebrochene oder reflectirte Strahlen mit directen interferiren, ist indess nicht immer leicht, da die Neigung der reflectirenden oder brechenden Fläche, das Brechungsverhältniss etc. überhaupt die nöthigen Anhaltspuncte zur Bestimmung des Strahlenganges sich in manchen Fällen nicht ermitteln lassen.



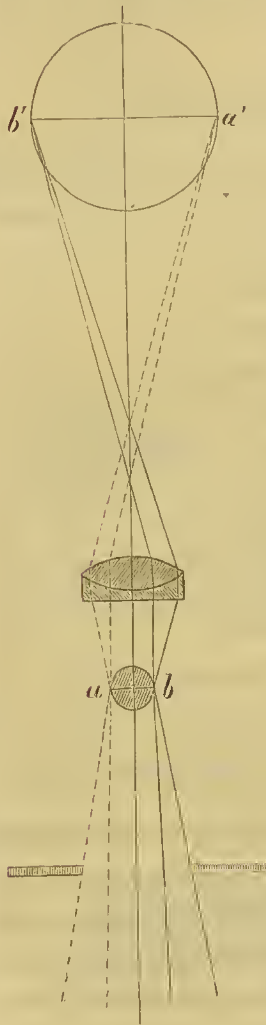
Figur 118.

4. Interferenz gebrochener oder reflectirter Strahlen unter sich.

Die Interferenzlinien, welche man an Krystallen innerhalb der 193
Contouren parallel mit den zugekehrten Kanten verlaufen sieht, rühren von Strahlen her, welche durch Brechung oder Reflexion nach denselben Puncten der Einstellungsebene gelenkt werden und sich hier je nach ihrem Gangunterschied schwächen oder verstärken. Denselben Ursprung haben die Interferenzlinien, welche bei Hohlcylindern an der Stelle der äusseren und inneren hellen Linie auftreten, sobald die den Rand oder das Lumen erhellenden Strahlen noch über dieselben hinaus zur Beleuchtung beitragen.

5. Reflexion des Lichtes an kleinen Kügelchen, Körnchen, feinen Fäden etc. und dadurch bedingte Interferenzerscheinungen.

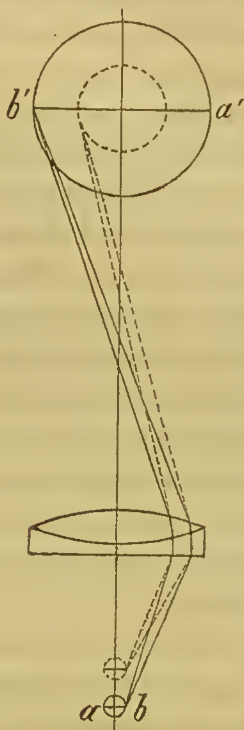
194 Ist *ab* (Fig. 119) ein kleines Quecksilberkügelchen, beispielsweise von 20 Mik. Durchmesser, so erscheint dasselbe bei mittlerer Einstellung, wenn wir die Spiegelung des Objectivs unberücksichtigt lassen, als schwarzer Kreis, umsäumt von einem deutlichen hellen Ring, der angeblichen »Diffractionslinie«. Die letztere rührt von Lichtstrahlen her, die an den Rändern der spiegelnden Kugel zurückgeworfen werden und daher gleichsam von diesen Rändern, die man als leuchtende Puncte betrachten kann, ausgehen. Genauer gesprochen ist die helle Linie nichts anderes, als das virtuelle Bild der Blendung, wie es von der durch die Puncte *a* und *b* gehenden Kugelzone entworfen wird. Ein den einfallenden Lichtkegel schneidender Gegenstand (Fensterrahmen, Bleistift etc.) stellt sich in diesem Spiegelbilde als dunkle Linie dar, welche an zwei opponirten Stellen des Kreisumfanges kürzere oder längere Bogen bildet.



Figur 119.

Es leuchtet nun von selbst ein, dass wenn das Mikroskop auf den spiegelnden Rand des Quecksilberkügelchens eingestellt ist, dieser letztere auch im Objectivbilde als helle Einfassung erscheint, da ja alle Strahlen, welche zum Bilde beitragen, von Puncten der Einstellungsebene ausgehen. Anders gestalten sich dagegen die Verhältnisse, wenn der Focus des Mikroskops in einem tieferen oder höheren Niveau liegt. Es treten alsdann in Betreff des leuchtenden Kugelrandes dieselben Erscheinungen hervor, welche die Annäherung oder Entfernung einer wenig ausgedehnten Lichtquelle immer hervorruft. Nur kommt in unserem Falle die besondere Einschränkung hinzu, dass die von der Lichtquelle ausgehenden Strahlenbündel, wie ein Blick auf die Figur zeigt, stets nur durch den entsprechenden Randtheil des Objectivs gehen, so dass z. B. für einen rechts gelegenen Punct *b* des Kugel-

randes die linke Hälfte des Objectivs ausser Wirkung bleibt. Unter diesen Verhältnissen wirkt eine Hebung des leuchtenden Punctes b wie eine Verschiebung desselben nach links, d. h. die Neigung des zum Objectiv gelangenden Lichtkegels oder seiner Axe wird durch die Hebung stärker, die des gebrochenen dagegen schwächer (Fig. 120). Der Bildpunct b' rückt daher nach rechts, und aus denselben Gründen bewegt sich a' um eben so viel nach links. Das Bild des leuchtenden Randes wird daher immer kleiner; der helle Ring zieht sich immer mehr zusammen, bis er endlich, wenn die Hebung lange genug fortgesetzt wird, nur noch als leuchtender Punct erscheint, welcher die Mitte des dunkeln Schattenbildes der Kugel einnimmt. Dabei ist natürlich vorausgesetzt, dass die Bildpuncte a' und b' trotz dieser Verschiebung ihre ursprünglichen Abstände von der Ocularlinse nicht wesentlich ändern, da im entgegengesetzten Falle ein deutliches Bild selbstverständlich nicht wahrgenommen würde. Bei den meisten Objectiven verwischt sich denn auch das Bild so rasch, dass das letzte Stadium, der helle Punct in der Mitte, nur bei äusserst kleinen Kügelchen, die also auch nur eine äusserst geringe Verschiebung erfordern, noch deutlich wahrgenommen wird. So z. B. bei den stärkeren Systemen von Oberhäuser und Hartnack, beim System 7 von Bénèche und Wasserlein etc., während das System 9 der letztgenannten Optiker bei Kügelchen von 25 Mik. Diameter nicht nur den centralen Punct, sondern bei noch tieferer Einstellung (wobei die Bildpuncte ihre relative Lage wechseln, indem b' rechts und c' links zu liegen kommt) abermals einen hellen Kreis zeigt.



Figur 120.

Hat der zum Objectiv gelangende Lichtkegel eine beträchtliche 195
Oeffnung, so kommt nicht bloss die Neigung seiner Axe, sondern auch die seiner einzelnen Strahlen in Betracht. Die schwächer geneigten bedingen eine geringere, die äussersten Randstrahlen eine stärkere Verschiebung der Bildpuncte a' und b'. Der ausfahrende Lichtkegel sondert sich also in viele, wovon jeder sein eigenes Bildchen liefert. Einzelne dieser Bildpuncte können auch in der Längs-

richtung so verschoben werden, dass sie für unser Auge verschwinden. Jedenfalls werden sich bei der Hebung des Objectes die einen früher, die andern später verwischen; die übrig bleibenden bilden aber immer eine ununterbrochene radiale Reihe und demnach im Gesammtbilde einen Ring. Der letztere erscheint aber nicht, wie man vielleicht erwarten möchte, gleichmässig beleuchtet, sondern aus abwechselnd hellen und dunkeln Linien zusammengesetzt, welche unverkennbar auf Interferenzerscheinungen deuten. Man begreift auch, dass Interferenzen stattfinden müssen, wenn man erwägt, dass die Strahlen, welche sich in einem Bildpuncte kreuzen, nahezu parallel verlaufen und dabei ungleiche Wege zurücklegen, und zwar einen um so längeren Weg, je mehr sie gegen die Axe geneigt sind. Beträgt nun der Gangunterschied der Randstrahlen eines ausfahrenden Lichtbündels eine gerade Zahl von halben Wellenlängen, so wird der entsprechende Bildpunct dunkel, bei einer ungeraden Zahl von halben Wellenlängen dagegen hell erscheinen. Die Abstände dieser Interferenzlinien lassen sich jedoch nicht so leicht, wie bei einfachen Brechungen, mathematisch feststellen, da der Strahlengang im Objectiv, wenn es auf Wellenlängen ankommt, sich jeder Berechnung entzieht.

196 Stellt man das Mikroskop auf die Ebene ein, in welcher das vom Kugelrand entworfene virtuelle Spiegelbild als ein centraler kleiner Kreis erscheint, so verhält sich dasselbe — abgesehen von der geringeren Schärfe und Lichtstärke — vollständig wie das virtuelle Bild einer Luftblase. Fensterrahmen, die sich im Spiegel reflectiren, erscheinen alsdann als gerade Linien; eine kleine Hebung des Tubus bewirkt eine rothe Färbung des Centrums und einen bläulichen Rand, eine Senkung ein bläuliches Centrum mit rothem Rand. Diese Farbenerscheinungen verdienen Beachtung, weil sie auch bei den kleinsten Kügelchen von 2—3 Mik. Durchmesser vorkommen und gerade hier die Unterscheidung derselben von kleinen Hohlräumen nicht wenig erschweren. Beide erscheinen nämlich bei einer gewissen Einstellung, die bei so kleinen Dimensionen nur wenig von der mittleren differirt, röthlich, bei etwas tieferer Einstellung hell und bei höherer dunkel. Nur wo die Kügelchen ein deutliches reelles Bild entwerfen, das also jedenfalls über dem rothen virtuellen liegt, ist ein theoretisch begründetes Unterscheidungsmerkmal gegeben und daher eine Verwechslung nicht wohl möglich. Allein in den meisten Fällen, die auch für den geübteren Mikroskopiker zweifelhaft sind, lässt uns dieses Criterium so ziemlich im Stich; jeder einzelne Fall erfordert

alsdann eine besondere Betrachtung und kann daher nur von einem Beobachter desselben gedeutet werden.

Es ist in manchen Fällen zu empfehlen, optische Erscheinungen der angedeuteten Art unter verschiedenen bekannten Instrumenten zu beobachten, da das verschiedene Aussehen des mikroskopischen Bildes, wenn auch nicht immer direct belehrt, doch wenigstens vor voreiligen Schlüssen bewahrt.

6. Interferenzlinien, welche die Entfernung einer wenig ausgedehnten Lichtquelle über die Objectdistanz hinaus hervorruft.

Im Vorhergehenden wurde gezeigt, dass die Annäherung eines 197
leuchtenden Punctes gegen die Focalebene des Mikroskops eine Verschiebung seines Objectivbildes und unter Umständen die Bildung von Interferenzlinien zur Folge habe, sobald die einfallenden Lichtbündel nur die eine Hälfte der Linsen treffen. Die entgegengesetzte Bewegung der Lichtquelle oder, was dasselbe ist, die Hebung des Mikroskoprohres, bringt natürlich eine analoge Wirkung hervor; der Bildpunct im mikroskopischen Bilde wird ebenfalls verschoben, aber in entgegengesetzter Richtung. Der Lichtsaum, welchen der spiegelnde Rand eines Quecksilbertropfens hervorruft, rückt also in diesem Falle nach aussen. Er kann sich dabei, je nach der Eigenthümlichkeit des Objectivs, in deutliche Interferenzringe auflösen oder aber sehr rasch verwischen. Eine Verwischung wird immer eintreten, wenn die entgegengesetzte Verschiebung Ringe, Ringbildung dagegen, wenn sie Verwischung bedingt.

Es leuchtet übrigens ein, dass das angeführte Beispiel zur Beobachtung dieser Erscheinung nicht gerade günstig ist, da der grösser werdende Lichtsaum auf das erhellte Gesichtsfeld fällt. Viel geeigneter sind feine Linien oder Puncte in einer (mit Tusche oder über der Kerzenflamme) geschwärzten Glasplatte oder die Spiegelbildchen kleiner Quecksilberkügelchen auf dunkelm Grunde. Die Interferenzlinien treten alsdann, wenn sie überhaupt zu Stande kommen, auffallend scharf und die peripherischen sogar mit deutlichen prismatischen Farben hervor. Wenn man die eine Hälfte des Objectivs bedeckt oder den Spiegel seitlich verstellt, so kann man sich leicht überzeugen, dass die Verschiebung in der angedeuteten Weise stattfindet, wie denn überhaupt nach dieser Methode sowohl Hebung als Senkung der Mikroskopröhre sich in ihren Wirkungen bequem studiren lassen.

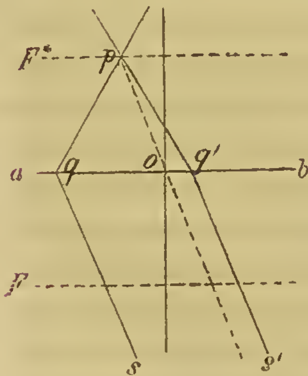
Wie die angeführten Lichtquellen verhalten sich natürlich auch alle reellen oder virtuellen Bilder, deren Umgebung nur schwach

oder gar nicht beleuchtet erscheint, so z. B. die hellen Linien in der Luftblase und im Hohlcylinder, die Brennlinien cylindrischer Fäden und Röhren etc.

IV.

Die schiefe Beleuchtung.

198 Es wurde früher hervorgehoben, dass ein schief einfallender Lichtkegel rücksichtlich der Aberrationen des Objectivs günstiger wirken könne, als ein gerader, unter der Voraussetzung nämlich, dass gerade diejenigen Neigungen darin vertreten seien, für welche das Instrument am vollkommensten aplanatisch ist. Hier sehen wir von dieser Bedeutung der schiefen Beleuchtung ganz ab, wir setzen ein vollkommen aplanatisches Mikroskop voraus, bei welchem die schiefe Lage des einfallenden Lichtkegels nur die Lichtintensität, nicht aber die Schärfe des Bildes beeinflusst. Es bleibt aber noch die Frage zu erörtern, wie die schiefe Beleuchtung im Gegensatz zu der geraden auf die Lichtvertheilung im mikroskopischen Bilde wirke, wenn als Object eine zart geschichtete Substanz oder eine Membran mit schwachen Erhabenheiten oder Vertiefungen gegeben ist. Da diese beiden Fälle sich hinsichtlich der Gesammtwirkung auf den einen zurückführen lassen, dass entsprechende Flächenstücke des Gesichtsfeldes sich abwechselnd wie Sammellinsen und Zerstreuungslinsen verhalten, so ist es zunächst unsere Aufgabe, auch das resultirende Bild von diesem allgemeineren Gesichtspuncte aus zu untersuchen.



Figur 121.

Sei ab (Fig. 121) ein Flächenelement, welches reelle Bilder liefert, und nehmen wir an, der Beleuchtungsspiegel sei so gestellt, dass alle einfallenden Strahlen nach der nämlichen Seite von der Senkrechten abweichen. Das Minimum dieser Abweichung sei δ, das Maximum δ'; der Oeffnungswinkel des Objectivs mag wie bisher ω heissen. Unter diesen Voraussetzungen sind die Grenzlinien des Kern- und Halbschattens durch die entsprechenden Werthe des Ablenkungswinkels ϱ bestimmt. Die Abhängigkeit derselben von der Neigung der einfallenden Lichtstrahlen tritt

jedoch in klarerer Weise hervor, wenn man ihre Abstände vom Centrum der brechenden Flächenelemente direct durch die Brennweite (f) der letzteren ausdrückt. Seien also F und F^* die beiden Brennebenen, sq und $s'q'$ einfallende Strahlen mit der Neigung δ', welche so gebrochen werden, dass sie gerade noch das Objectiv erreichen; dann geben die Dreiecke opq und opq' die trigonometrischen Beziehungen $op : oq = \cos\frac{\omega}{2} : \sin\left(\frac{\omega}{2} + \delta'\right)$, folglich

$$oq = \frac{\sin\left(\frac{\omega}{2} + \delta'\right)}{\cos\frac{\omega}{2} \cdot op}, \text{ oder da } op = \frac{f}{\cos\delta'}$$

$$oq = f\frac{\sin\left(\frac{\omega}{2} + \delta'\right)}{\cos\frac{\omega}{2}\cos\delta'} = f\left(\operatorname{tang}\frac{\omega}{2} + \operatorname{tang}\delta'\right)$$

und ebenso erhält man

$$oq' = f\left(\operatorname{tang}\frac{\omega}{2} - \operatorname{tang}\delta'\right).$$

Die Grenzlinie des Kernschattens rückt also einerseits gegen den optischen Mittelpunct vor und fällt mit diesem zusammen, sobald $\delta' = \frac{\omega}{2}$; andererseits entfernt sie sich von demselben und erreicht bei starken Vergrösserungen, wenn z. B. $\omega = 80^0$ und δ' etwas grösser als 45^0, leicht einen Abstand von $2f$. Dasselbe Raisonnement gilt natürlich auch für den Halbschatten; die Formeln bleiben dieselben, nur dass δ an die Stelle von δ' kommt. Damit ist aber bewiesen, dass die schiefe Beleuchtung bei Flächenelementen, deren Breite weniger als $2f$ beträgt, auf der einen Seite den Schatten ganz aufhebt, während sie ihn auf der andern verstärkt. Wo demnach viele solcher kleinen Sammellinsen sich unmittelbar aneinander anschliessen, da zeigt das mikroskopische Bild ebenso viele helle Stellen, welche mit dunkeln alterniren, wie diess auch bei gerader Beleuchtung der Fall ist. Während aber die letztere möglicher Weise nur den Halbschatten zur Erscheinung bringt, erzeugt das schiefe Licht den viel augenfälligeren Kernschatten und steigert dadurch die Gegensätze zwischen Hell und Dunkel.

Wechseln dagegen unter denselben Voraussetzungen die kleinen Sammellinsen mit Zerstreuungslinsen oder mit Flächenelementen ab, die keine Ablenkung verursachen, so bleiben diese letzteren hell, während die Zerstreuungslinsen Licht und Schatten in umgekehrter Anordnung zeigen. Die beleuchteten Theile benachbarter Flächen-

elemente schliessen sich also aneinander an; je zwei Elemente bilden zusammen eine helle und eine dunkle Stelle. Die Zahl der Licht- und Schattenpuncte im mikroskopischen Bilde wird folglich auf die Hälfte reducirt, und es ist nicht zu verwundern, wenn in Folge dessen bei schwierigen Objecten Streifen zum Vorschein kommen, welche bei gerader Beleuchtung nicht wahrnehmbar sind.

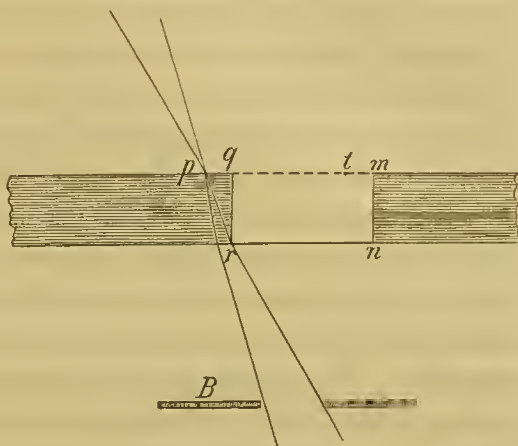
Diese Folgerung hat auch dann noch Geltung, wenn die Brechung ziemlich unregelmässig stattfindet, indem z. B. die Brennweiten der Randstrahlen viel kleiner ausfallen, als die der centralen; nur ist selbstverständlich in diesem Fall die Grösse f einzig und allein auf die Grenzstrahlen zu beziehen.

199 Wir kennen nun freilich keine Objecte, bei denen der eben bewiesene Satz sich auf experimentellem Wege bestätigen liesse. Er ist aber nichtsdestoweniger unzweifelhaft richtig, und ein Glasplättchen mit wellenförmiger Oberfläche müsste die Erscheinungen genau so zeigen, wie die Theorie es verlangt, d. h. die Zahl der dunkeln Streifen könnte bei hinreichend schiefer Spiegelstellung nur halb so gross sein, als bei gerader.

Wenn wir bei den gewöhnlichen Probeobjecten, bei gestreiften Membranen u. dgl. eine solche Wirkung der schiefen Beleuchtung nicht wahrnehmen, so liegt die Ursache darin, dass dieselben nur in gleichartige Linsen, die sich unmittelbar berühren, zerlegt werden können, oder dass die Brennweite der brechenden Flächenelemente im Verhältniss zur Breite zu klein ist. Zuweilen mag es auch daher rühren, dass zu den Brechungen noch Reflexionserscheinungen hinzukommen, welche ihre besonderen Schatten hervorrufen. In anderen Fällen, wenn nämlich das Object sehr dick ist, so dass seine tiefer liegenden Theile gleichsam mit zum Beleuchtungsapparat gehören, hängt natürlich auch hievon Licht- und Schattenvertheilung im Bilde ab. Eine eingehende und dabei allgemein gültige Betrachtung solcher Verhältnisse ist indess nicht wohl möglich; jeder einzelne Fall muss besonders construirt oder berechnet werden.

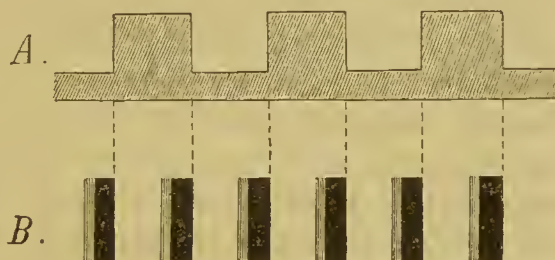
Wir wollen als Beispiel nur die Wirkung erörtern, welche der senkrechte Rand einer Membran oder eines Deckgläschens bei schiefer Beleuchtung hervorbringt. Ist qr (Fig. 122) die senkrechte Randfläche und B die seitlich verschobene Blendung, welche die Neigung des einfallenden Lichtkegels bestimmt, dann ist ohne Weiteres aus der Figur ersichtlich, dass wenn das Mikroskop auf die Oberfläche des Deckgläschens eingestellt wird, der Punct p eben noch voll beleuchtet erscheint. Weiter nach rechts werden die rückwärts con-

struirten Strahlen zunächst theilweise, dann sämmtlich von der senkrechten Randfläche nach links reflectirt oder doch so gebrochen, dass sie die Blendungsöffnung nicht erreichen. Der Rand des Deckgläschens fällt also in den Schatten. In ähnlicher Weise lässt sich zeigen, dass wenn man bei gleicher Beleuchtung den linken Rand *mn* (Fig. 122) eines Deckgläschens beobachtet, der letztere selbst hell, dagegen das angrenzende Stück *mt* der Einstellungsebene dunkel erscheint.



Figur 122.

Denken wir uns also ein Object mit vorstehenden Leisten (Fig. 123 *A*), so muss nach dem eben Angeführten die Einstellung auf die Oberfläche der Erhabenheiten ein Bild liefern, wie es in Fig. 123 *B* dargestellt ist. Die Leisten sowohl als die Vertiefungen zwischen denselben fallen je mit ihrer rechten Kante in den Schatten, und zwar fällt derselbe um so breiter aus, je schiefer die Beleuchtung. Den nämlichen Effect müssten natürlich auch abwechselnd dichtere und weichere Schichten mit senkrechten Grenzflächen hervorrufen, wenn das Mikroskop auf die Oberfläche derselben eingestellt wird.



Figur 123.

Die Bedeutung der schiefen Beleuchtung liegt also vorzugsweise 200
darin, dass sie die Gegensätze zwischen Licht und Schatten steigert und die Schattenlinien überdiess breiter und daher deutlicher zur Erscheinung bringt. In besonderen Fällen kommt noch hinzu, dass die Zahl derselben bei hinreichend schiefer Beleuchtung nur halb so gross sein kann, als bei gerader, wodurch natürlich die Wahrnehmbarkeit in noch höherem Grade gesteigert wird.

Der Neigungswinkel des einfallenden Lichtkegels, oder genauer

seiner Axe, muss natürlich für jeden gegebenen Fall durch Tatonnement besonders bestimmt werden. Sein Werth richtet sich nicht bloss nach der Natur des Objectes und der Oeffnung ω des Objectivs, sondern auch nach der Differenz zwischen den extremen Werthen von δ. Da nämlich die Unterscheidbarkeit abwechselnd positiver und negativer Gesichtseindrücke am grössten ist, wenn weder die einen noch die anderen ein entschiedenes Uebergewicht haben, so ist stets diejenige Combination die günstigste, durch welche die Schatten- und Lichtlinien nahezu gleiche Breite und erstere überdiess ihre grösste Tiefe erhalten. Wo beides zugleich nicht erreichbar ist, lässt sich freilich eine grössere Breite der Schatten nur auf Kosten ihrer Dunkelheit, und eine grössere Dunkelheit nur auf Kosten ihrer Breite herstellen. Das Auge hat dann zu entscheiden, welche Mittelstufe für die Beobachtung die zweckdienlichste ist.

201 Was die schiefe Beleuchtung durch Randstrahlen eines geraden, ziemlich weit geöffneten Lichtkegels betrifft, wie sie durch Anwendung einer ringförmigen Blendungsöffnung erzielt wird, so waren wir nie im Falle, die Vorzüge dieser Beleuchtungsart bei dieser oder jener Untersuchung praktisch kennen zu lernen. Soweit aber die mit Probeobjecten angestellten Experimente ein Urtheil erlauben, möchten wir dieselben gerade nicht allzu hoch anschlagen. Theoretisch betrachtet kann eine solche Beleuchtung nur die Wirkung haben, dass die Lichtstärke des mikroskopischen Bildes in demselben Verhältnisse abnimmt, in welchem der Querschnitt des wirksamen Lichtkegels durch Abhaltung der Centralstrahlen sich verkleinert. Die Grenzlinien des Kern- und Halbschattens aber behalten unter allen Umständen ihre Lage bei, da sie in jedem gegebenen Falle nur von der Neigung der extremen Randstrahlen, d. h. von den Maximalwerthen von δ und ω abhängen. Eine gemilderte Lichtintensität lässt sich aber eben so leicht auch dadurch herstellen, dass man den Spiegel einer weniger intensiven (jedoch hinreichend ausgedehnten) Lichtquelle zuwendet oder statt desselben ein Stück weisses Papier als reflectirende Fläche benutzt, oder indem man die einfallenden Strahlen durch einen halbdurchsichtigen Gegenstand (Seidenpapier, mattgeschliffenes Glas u. dgl.) gehen lässt.

Eine wesentlich günstige Wirkung der fraglichen Beleuchtungsart würde nur dann erklärlich sein, wenn das Objectiv bloss für Randstrahlen innerhalb gewisser Grenzen der Neigung, nicht aber für Centralstrahlen, aplanatisch wäre. In diesem Falle müsste jedoch

eine ringförmige Blendung nicht bloss für gewisse Objecte, sondern für alle ohne Ausnahme vortheilhaft sein.

V.

Die Bewegungserscheinungen.

Die Beobachtung der Bewegungserscheinungen unter dem Mi- 202
kroskop hat schon zu manchen irrigen Vorstellungen über die Natur dieser Bewegungen geführt. Wenn man z. B. Schwärmsporen den Raum des ganzen Gesichtsfeldes in einer Secunde zurücklegen sieht, so möchte man glauben, dieselben schiessen pfeilgeschwind durch das Wasser, während sie in Wirklichkeit vielleicht nur den dritten Theil eines Millimeters zurücklegen, was auf die Stunde etwas mehr als einen Meter ausmacht. Man darf also nie vergessen, dass die Bewegungsgeschwindigkeit mikroskopischer Objecte immer nur eine scheinbare ist und dass die richtige Beurtheilung derselben nur dadurch möglich wird, dass man das wirkliche Verhältniss zwischen Raum und Zeit als Maassstab nimmt. Will man behufs gewisser Vergleichungen auch die Grösse der sich bewegenden Körper in Rechnung bringen, so mag man das immerhin thun; die Ermittlung der wirklichen Geschwindigkeit bleibt jedoch bei jeder fortschreitenden Bewegung die Hauptsache.

Wenn ein schraubenförmig gewundenes Object von geringer 203
Dicke sich in der Einstellungsebene um seine Axe dreht und zugleich vorwärts bewegt, so gewährt dasselbe den täuschenden Schein einer Schlangenbewegung. Es rührt diess daher, dass die den aufeinanderfolgenden Zeitmomenten entsprechenden Horizontalprojectionen eines solchen Objects genau dieselben sind, wie wenn die Bewegung eine wirkliche Schlangenbewegung wäre. Als Beispiel einer hieher gehörigen Erscheinung führen wir das angebliche Schlängeln von Spirillum und Vibrio an.

Aehnliche Täuschungen rufen zuweilen auch Schwärmsporen und Spermatozoen hervor; sie scheinen Schlangenlinien zu beschreiben, während sie in Wirklichkeit sich in einer Spirale bewegen. Man glaubte überhaupt früher eine Menge verschiedener Bewegungserscheinungen unterscheiden zu müssen, während neuere Beobachter die meisten derselben als ein mit Drehung verbundenes Vorwärtsrücken erkannt haben, wobei die Drehung bald um eine centrale,

bald um eine excentrische Axe erfolgt*). Dahin gehören beispielsweise auch die vermeintlichen Schwingungen der Oscillarien, deren Niveauveränderungen während der Schwingung man früher übersehen hatte.

Zur Charakteristik einer Spiralbewegung gehört natürlich auch die Angabe, ob sie rechts- oder linkswendig sei. Diess zu unterscheiden ist bei kugeligen oder cylindrischen Körpern, die sich um eine centrale Axe bewegen, keineswegs leicht und in manchen Fällen, wenn das Object sehr klein und der Inhalt homogen ist, geradezu unmöglich. Die kleinen Abweichungen von der Cylinder- oder Kugelform, wie sie bei jeder Zelle vorkommen, reichen alsdann gerade aus, um wenigstens erkennen zu lassen, dass irgend eine Drehung stattfindet. Die Unterscheidung der Drehungs**richtung** ist nur dann möglich, wenn feste Puncte, deren Lage zur Axe der Spirale bekannt ist, in ihrer Bewegung um dieselbe mindestens ein Stück weit verfolgt werden können. Dasselbe gilt mutatis mutandis auch von spiralig gewundenen Fäden, Spiralgefässen etc.; man muss die zu- und abgekehrte Seite der Windungen sicher von einander unterscheiden können.

Ist der Verlauf der Windungen sehr unregelmässig, wie z. B. in Fig. 124, so erfordert es einige Uebung und Vorsicht, um bei kleinen Objecten eine Spirallinie als solche zu erkennen. Das mikroskopische Bild kann alsdann leicht zu der Annahme führen, man habe es mit einem cylindrischen Körper zu thun, der aus ineinander geschachtelten Glocken oder Trichtern zusammengesetzt sei. So wurden z. B. die spiraligen Verdickungsfasern, wie sie aus den Epidermiszellen mancher Samenhäute hervorquellen, gedeutet, obschon man hie und da neben den unregelmässigen auch ganz regelmässige Spiralen beobachtet.



Figur 124.

204 Uebrigens darf man nicht vergessen, dass im mikroskopischen Bilde eine Spirallinie stets in gleicher Weise gewunden erscheint, wie mit blossem Auge gesehen, während im Spiegelbilde (da die Umkehrung nur eine halbe ist) eine rechtsläufige Schraube sich bekanntlich linksläufig darstellt, und umgekehrt. Wird daher das mikroskopische Bild durch einen Spiegel betrachtet, wie z. B. beim Zeichnen mittelst

*) Vgl. hierüber Nägeli. Beiträge II. pag. 88 ff.

des Sömmerring'schen Spiegelchens, oder werden überhaupt die bilderzeugenden Strahlenbündel irgendwo durch einmalige Reflexion abgelenkt, so findet eine ähnliche Umkehrung der Rechtswendung in Linkswendung statt, welche indess durch eine zweite Reflexion, wie sie z. B. bei der Oberhäuser'schen Camera lucida und bei manchen multoculären Mikroskopen vorkommt, wieder aufgehoben wird. Das Alles ist, wie man sieht, sehr einleuchtend und für den praktischen Beobachter so zu sagen selbstverständlich; dessenungeachtet haben schon manche Mikroskopiker den Beweis geliefert, dass sie über dergleichen Dinge noch ganz im Unklaren sind.

VI.

Die Niveaudifferenzen.

Da man durch das Mikroskop nur solche Gegenstände, welche 205
genau in der Einstellungsebene liegen, scharf sieht, so ist es möglich, die Entfernung zweier Objectpuncte in der Richtung der Mikroskopaxe dadurch zu ermitteln, dass man mit Hülfe eines zweiten horizontal gestellten Mikroskops oder auch vermittelst einer hiefür besonders construirten Mikrometerschraube die Niveaudifferenz der entsprechenden Einstellungsebenen misst. Bei diesem Verfahren ist jedoch, insofern die gegebenen Objecte in ein flüssiges oder festes Medium, z. B. in Wasser, eingetaucht sind, eine Fehlerquelle zu berücksichtigen, welche in sehr erheblichem Grade auf die Resultate der Messung influirt. Bestimmt man nämlich die Tubusverschiebung, welche nothwendig ist, um abwechselnd den einen und andern der beiden gegebenen Objectpuncte in die Einstellungsebene zu bringen, so fällt die Verschiebungsgrösse immer beträchtlich kleiner aus, als die wirkliche Niveaudifferenz. Als Brennweite einer kugelförmigen Luftblase in Wasser erhält man z. B. 0,98—1,04 (der Radius als Einheit gedacht), während sie in Wirklichkeit für die maassbestimmenden mittleren Strahlen circa 1,3 beträgt.

Dieser Fehler rührt daher, dass der Uebergang der Lichtbündel aus Wasser in Luft (das Deckplättchen kommt hier nicht in Anschlag) für das bewaffnete Auge im Allgemeinen dieselbe Wirkung hervorbringt, wie für das unbewaffnete. Ein in Wasser befindlicher Gegenstand wird nämlich scheinbar gehoben und zwar absolut genommen um so mehr, je tiefer er liegt. Das virtuelle Bild einer Luftblase wird

also stärker gehoben, als das Centrum derselben, die Brennweite folglich verkürzt, und aus demselben Grunde wird ganz allgemein der senkrechte Abstand zweier Puncte verkleinert. Das Maass dieser Verkleinerung hängt natürlich vom Einfallswinkel der wirksamen Lichtstrahlen ab und wird für kleine Werthe desselben, so lange die Bogen sich wie die Sinus verhalten, ganz allgemein durch $1 - \frac{1}{n}$ ausgedrückt, wenn n den Brechungscoefficienten bezeichnet. Da nun die einfallenden Lichtkegel im Objectiv so gebrochen werden, als ob sie aus Strahlen von bestimmter mittlerer Neigung beständen und diese Neigung bei den stärkeren der untersuchten Systeme nicht über 12—18° steigt, so ist obiger Ausdruck in den meisten vorkommenden Fällen annähernd richtig und folglich die trigonometrische Bestimmung*) des Fehlers überflüssig. In Wasser mit dem Brechungscoefficienten $^4/_3$ wird demnach jede Niveaudifferenz um den 4ten Theil ihrer wirklichen Grösse verkleinert, d. h. auf $^3/_4$ reducirt. (Die genaue Berechnung giebt bei einem Einfallswinkel von 18° statt $^3/_4$ den etwas kleineren Werth 0,7395.)

Es giebt übrigens ein einfaches Mittel, die genannte Fehlerquelle zu beseitigen; man hat nur nöthig, die Luftschicht zwischen Objectiv und Deckglas durch Wasser zu ersetzen. Die Messungen stimmen alsdann genau mit den wahren Werthen überein.

---

*) Ist D die wirkliche und d die scheinbare Niveaudifferenz, α der Einfallswinkel und α' der (grössere) Brechungswinkel, so erhält man

$$d = \frac{\cos\alpha' \sin\alpha}{\sin\alpha' \cos\alpha} \cdot D \text{ und}$$

$$D - d = \frac{\sin(\alpha' - \alpha)}{\cos\alpha \sin\alpha'} \cdot D \,.$$

Fünfter Abschnitt.

Das einfache Mikroskop und das Bildmikroskop.

Das zusammengesetzte dioptrische Mikroskop nimmt heut zu 206
Tage unter allen optischen Hülfsmitteln, welche zur Beobachtung kleiner Gegenstände benutzt werden können, unstreitig den ersten Rang ein. Es ist das eigentliche Beobachtungsinstrument des Naturforschers, die Hauptwaffe des Mikroskopikers geworden. Der Wirkungskreis, welcher seinem früheren Nebenbuhler, dem einfachen Mikroskope, noch geblieben ist, wird von Jahr zu Jahr kleiner, und das Bildmikroskop (je nach der Beleuchtungsart Sonnen-, Gas- oder photoelektrisches Mikroskop genannt) hatte für die Wissenschaft von jeher so gut wie keine Bedeutung. Der Leser wird es unter diesen Umständen gerechtfertigt finden, wenn wir den genannten Apparaten nur eine verhältnissmässig kurze, nachträgliche Erörterung widmen.

I.

Das einfache Mikroskop.

A. Allgemeine Grundsätze.

Als einfaches Mikroskop ist im Grunde jede Linse oder Linsen- 207
combination zu betrachten, welche in der Weise Anwendung findet, dass das Auge das von derselben entworfene virtuelle Bild direct beobachtet. In der Praxis pflegt man indess nur die stärker vergrössernden Linsen oder Linsensysteme, welche zum bequemeren Gebrauch an einem Stativ befestigt sind, mit dem gedachten Ausdruck eines einfachen Mikroskops zu bezeichnen, während die schwächeren Linsen,

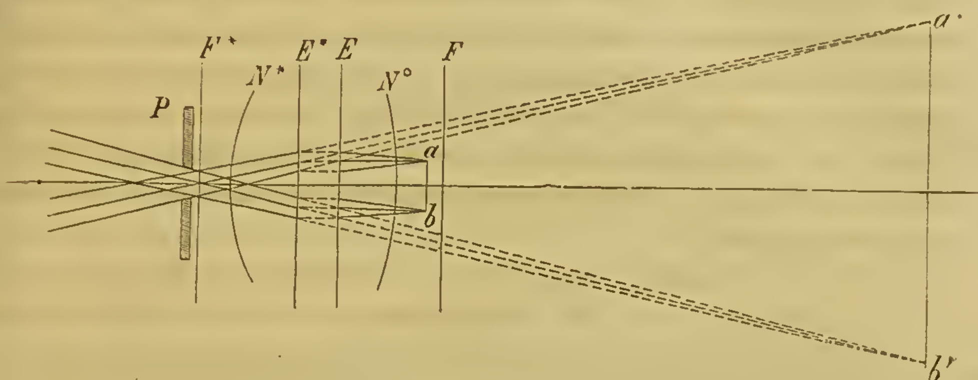
welche in freier Hand gehalten werden können, Loupen genannt werden. Es versteht sich übrigens von selbst, dass diese Unterscheidung eine ziemlich willkürliche sein muss, da man auch die Loupe nicht selten mit einem Gestelle versieht, mittelst dessen sie in die gewünschte Lage zum Object gebracht werden kann, und umgekehrt auch die stärkeren Systeme des einfachen Mikroskops zuweilen als Loupe in die Hand nimmt oder an einem gewöhnlichen Halter befestigt. Die übliche Benennung richtet sich also mehr nach der Form, welche man dem ganzen Apparat giebt, als nach seiner optischen Beschaffenheit.

208 Für die Theorie ist es natürlich vollkommen gleichgültig, ob die Vergrösserung stärker oder schwächer sei; das Zustandekommen eines scharfen Bildes ist in allen Fällen an die Bedingung geknüpft, dass die beiden Aberrationen für den gegebenen Objectabstand, der natürlich immer etwas kleiner ist, als die Brennweite, möglichst beseitigt seien. Die Herstellung einer guten Loupe oder eines einfachen Mikroskops ist daher genau mit denselben Schwierigkeiten verbunden, wie diejenige eines gewöhnlichen Objectivsystems von ungefähr gleicher Brennweite. Der Umstand, dass im ersteren Fall virtuelle Bilder, statt reellen, in Betracht kommen, macht die Sache weder leichter noch schwerer, obschon er natürlich berücksichtigt werden muss. Alles, was früher über die Verbindung von Flintglas- und Kronglaslinsen zu aplanatischen Systemen gesagt wurde, findet demzufolge auch hier unmittelbare Anwendung, und auch die Prüfung des optischen Vermögens und der vergrössernden Kraft kann in derselben Weise geschehen, wie beim zusammengesetzten Mikroskop. Es bleibt uns daher nur übrig, diejenigen Puncte noch besonders hervorzuheben, welche zum Verständniss des Strahlenganges unter den gegebenen Verhältnissen, die sich in mancher Beziehung von den früher betrachteten unterscheiden, wesentlich sind.

1. Oeffnung der wirksamen Lichtkegel.

209 Die Oeffnung der von den Objectpuncten einfallenden Strahlenkegel hängt bei einem gegebenen System von der Pupillenöffnung des beobachtenden Auges und von der Oeffnung der Blendungen ab. Ist ab (Fig. 125) das Object, F die vordere und F^* die hintere Brennebene, EE^* das Hauptebenenpaar und P die Pupille, dann ist der Durchmesser der letzteren für alle endlichen Entfernungen des virtuellen Bildes $a'b'$ offenbar immer etwas grösser, als der Durchmesser der Flächen, in welchen die optisch wirksamen Lichtkegel die Haupt-

ebenen schneiden. Bei einer Mehrzahl von brechenden Flächen trifft demnach jeder einfallende Lichtkegel die erste derselben (N^0) in einem ganz kleinen Kreis, jede folgende in einem etwas grösseren,



Figur 125.

bis endlich sein Durchmesser demjenigen der Pupille annähernd gleichkommt. Die Lage dieses Kreises entspricht dem betreffenden Objectpunct; sein Abstand von der Axe nimmt mit dem Abstand des letzteren ab und zu.

Ist das Auge auf unendliche Entfernung eingestellt und folglich der Durchschnitt der einfallenden Lichtkegel mit den Hauptebenen der Pupillenöffnung gleich, dann ist der Oeffnungswinkel ω für die Mitte des Gesichtsfeldes, wie leicht einzusehen, durch die Formel bestimmt

$$\operatorname{tang} \frac{\omega}{2} = r \cdot \frac{d}{2f}$$

worin d den Pupillendurchmesser und f die Brennweite bedeutet. Kleinere Oeffnungswinkel stehen also annähernd im umgekehrten Verhältniss zur Brennweite. Wird d zu 3 m.m. angenommen, so ergiebt die Rechnung beispielsweise folgende zusammengehörige Werthe:

Brennweite in Millimetern	2	3	4	5	6	10	12
Oeffnungswinkel	73°44′	53°8′	41°4′	33°24′	28°4′	17°4′	14°14′

Mit diesen Werthen stimmen natürlich annähernd auch die überein, die man unter übrigens gleichen Voraussetzungen für eine endliche Sehweite von 100—250 m.m. erhalten würde.

Befindet sich über der letzten Fläche des Systems eine Blendung, deren Oeffnung kleiner ist als die Pupille, so ist selbstverständlich

die Grösse dieser Oeffnung maassbestimmend für die einfallenden Lichtkegel. Dasselbe gilt in gewissem Sinne auch für beliebige andere Blendungen, welche irgendwo zwischen die brechenden Flächen eingeschaltet werden; nur werden dadurch, wie man ohne Weiteres aus der Construction ersieht, zunächst die peripherischen Bündel ganz oder theilweise abgeschnitten, während die mittleren noch ungeschwächt durchgehen. Solche Blendungen bedingen demnach die Grösse des Gesichtsfeldes und verschmälern vorzugsweise die Lichtkegel, welche von den peripherischen Puncten desselben auf die Netzhaut gelangen.

2. Lichtstärke.

210 Wenn die optisch wirksamen Lichtkegel die Pupillenöffnung ganz ausfüllen, was für die mittleren Objectpuncte ein gewöhnlicher Fall ist, so besitzen sie nach der letzten Brechung, wodurch ihr Convergenzpunct in die Entfernung der Sehweite gerückt wird, selbstverständlich denselben Oeffnungswinkel, wie diejenigen Lichtbündel, welche das Auge bei unmittelbarem Sehen empfängt. Die Lichtstärke des virtuellen Bildes ist in diesem Falle (abgesehen von den durch Reflexion oder Absorption verursachten Verlusten) nahezu der Einheit gleich, d. h. die Gegenstände werden durch das einfache Mikroskop ungefähr so hell gesehen, wie mit dem unbewaffneten Auge. Genauer wird die resultirende Helligkeit, wie beim zusammengesetzten Mikroskop, durch die Formel ausgedrückt:

$$v = \left(\frac{\omega}{\varrho m}\right)^2$$

worin v die Helligkeit, ω der Oeffnungswinkel des Systems, ϱ der Oeffnungswinkel des unbewaffneten Auges für eine bestimmte Sehweite und m die lineare Vergrösserungszahl für die nämliche Sehweite bezeichnet. Beträgt $\varrho = 1^0$, was z. B. bei einer Sehweite von 172 m.m. und einer Pupillenöffnung von 3 m.m. der Fall ist, so vereinfacht sich obiger Ausdruck, wenn der Grad als Einheit genommen wird, in $\left(\frac{\omega}{m}\right)^2$. Da nun die Vergrösserungszahlen, wenn man die Sehweite vom hinteren Brennpunct an rechnet, sich wie die Tangenten der halben Oeffnungswinkel verhalten (indem beide im umgekehrten Verhältniss zu den Brennweiten stehen), so folgt daraus, dass die Lichtstärke um so kleiner ausfällt, je stärker die Vergrösserung. Einige Beispiele, in welchen die entsprechenden Werthe von ω und m zusammengestellt sind, mögen diese Abnahme veranschaulichen.

Brennweite	12	10	6	5	4	3	2
ω	14,2	17,1	28,1	33,4	41,1	53,1	73,7
m	14,3	17,6	28,6	34,4	43,0	57,3	86

3. Krümmung des Gesichtsfeldes.

Die sogenannte »Krümmung« des Gesichtsfeldes ist keineswegs 211 durch die Wölbung der Bildfläche, sondern durch die Ablenkung der ins Auge gelangenden Lichtbündel, resp. ihrer Axen, zu erklären. Hierüber gilt im Allgemeinen, was früher über die Ebenung des Gesichtsfeldes und die Wirkung der Ocularlinse gesagt wurde. Die specielle Anwendung jener Betrachtungen auf die Cylinderloupe, das Doublet etc. ist um so leichter, als der Verlauf der einfallenden und ausfahrenden Strahlenbündel fast genau derselbe ist, wie beim Ramsden'schen Ocular. Der Convergenzpunct der ausfahrenden Bündel ist durch die Lage des beobachtenden Auges bestimmt; derselbe verhält sich aber zum Kreuzungspunct der rückwärts verlängerten einfallenden, wie ein Object zu seinem Bild, und kann daher immer so gewählt werden, dass der letztere, wie beim Ocular, um c. 200$^{m.m.}$ von den brechenden Flächen absteht. Die Uebereinstimmung ist alsdann eine vollkommene.

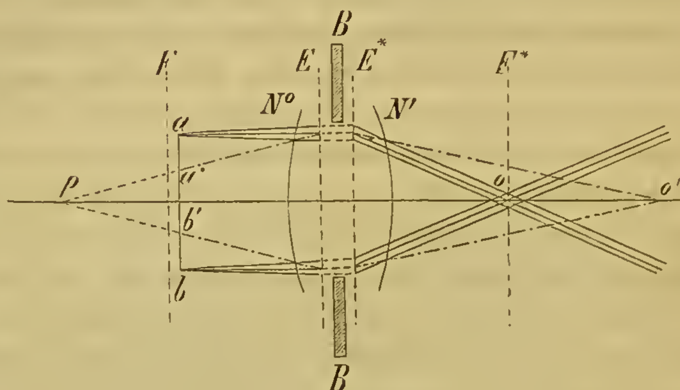
Um die Verzerrung des Bildes zu beseitigen, handelt es sich also 212 in allen Fällen darum, die brechenden Flächen so zu combiniren, dass sie ein für die gegebenen Vereinigungsweiten, d. h. für die Abstände der genannten Kreuzungspuncte, möglichst aplanatisches System bilden. Die Wölbung der Bildfläche ist hievon unabhängig; sie rührt davon her, dass die Objectpuncte nicht gleich weit von den brechenden Flächenelementen abstehen.

4. Die Vergrösserungszahl.

Die Vergrösserungszahl ist durch die bekannte Formel gegeben: $m = \frac{f-p^*}{f}$ oder, da p^* hier negativ ist, $m = \frac{f+p^*}{f}$. Da nun p^* von der hinteren Hauptebene an gerechnet werden muss, so ist einleuchtend, dass die Vergrösserung bei gegebener Sehweite um so geringer ausfällt, je weiter das Auge von dieser Hauptebene oder überhaupt vom Linsensystem absteht. Daher ist es im Allgemeinen Regel, das Auge so nah als möglich an die letzte brechende Fläche zu halten.

5. Die Grösse des Gesichtsfeldes.

213 Die Grösse des Gesichtsfeldes hängt bei einem gegebenen Linsensystem von der Oeffnung der Linsen und der Lage des beobachtenden Auges ab. Je grösser der Abstand des letzteren, um so kleiner ist das Gesichtsfeld. Ist wieder N^0 (Fig. 126) die erste und N' die letzte brechende Fläche des Systems, dessen Haupt- und Brennebenen in gewohnter Weise bezeichnet sind, und ist die Oeffnung desselben



Figur 126.

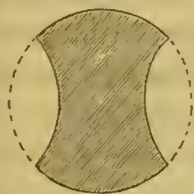
durch die Blendungen oder Fassungen BB bestimmt, so übersieht ein in o befindliches Auge das Object ab in seiner ganzen Ausdehnung, weil alle parallel mit der Axe einfallenden Lichtbündel nach o gebrochen werden. Befindet sich dagegen das Auge in o', so können nur Lichtbündel dahin gelangen, welche unter sich divergiren, so zwar, dass ihr Convergenzpunct p sich zu o' verhält, wie ein Object zu seinem Bild. Das Gesichtsfeld wird daher nothwendig kleiner, als die Oeffnung des Systems; die äussersten Puncte, welche noch wahrnehmbar bleiben, sind a' und b'. Eine noch grössere Entfernung des Auges müsste natürlich auch eine stärkere Divergenz der einfallenden Lichtbündel und daher eine weitere Verkleinerung des Gesichtsfeldes zur Folge haben, während umgekehrt eine grössere Annäherung eine Vergrösserung des Gesichtsfeldes bedingen würde. Dass das letztere überdiess von der Oeffnung der Linsen abhängt und durch kleinere Blendungen reducirt wird, ist an und für sich klar.

B. Die optische Einrichtung.

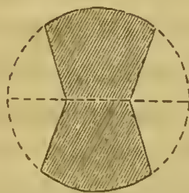
214 Wir gehen jetzt zur Aufzählung der bekannteren Formen über, welche man in neuerer Zeit der Loupe und dem einfachen Mikroskop gegeben hat. Die Bemühungen des verflossenen Jahrhunderts mit zu besprechen liegt ausserhalb unserer Aufgabe; wir verweisen in diesem

Betreff, wie überhaupt in Bezug auf die Geschichte des Mikroskops, auf das ausführliche Werk von Harting.

Brewster kam zuerst auf den glücklichen Gedanken, durch Einschleifen einer ziemlich tiefen Rinne in eine Glaskugel (Fig. 127) eine Loupe herzustellen, welche beinahe vollkommen aberrationsfreie Bilder liefert. Coddington erleichterte deren Herstellung, indem er der Rinne eine schärfere Form (Fig. 128) gab und die beiden Hälften der Kugel getrennt aus geeigneten Stücken planconvexer Linsen anfertigte, welche nachher mit ihren ebenen Flächen zusammengekittet wurden. Auf die Form der Rinne kommt es übrigens nicht an,



Figur 127.



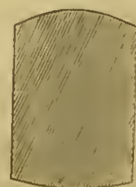
Figur 128.



Figur 129.

und es ist einleuchtend, dass die in Fig. 129 dargestellte Construction dem beabsichtigten Zwecke ebensogut entspricht. Diese Coddington'schen Loupen (auch Coneopside oder Vogelaugenlinsen genannt), wie sie Lerebours in Paris in den Handel brachte, fanden allgemein eine beifällige Aufnahme; sie geben nach Mohl eine mehr als 20fache Vergrösserung und sind aller Empfehlung werth. Dieselben leiden indess an zwei Unvollkommenheiten, welche bei manchen Untersuchungen sehr nachtheilig sind; das Gesichtsfeld ist nämlich sehr beschränkt und der Abstand des Focus von der unteren Fläche nur ungefähr ¼ des Kugeldurchmessers. Wo es sich daher um den Ueberblick eines grösseren Gegenstandes handelt, was in der Praxis der häufigste Fall ist, sind die neueren aplanatischen Linsencombinationen vorzuziehen. — Coddington'sche Loupen, aus einem einzigen Glascylinder gefertigt, sind im neuesten Preisverzeichniss von Nachet zu 5 Fr. angesetzt.

Mit den eben genannten sind auch die Cylinderloupen verwandt, welche namentlich in Deutschland seit längerer Zeit Verbreitung fanden. Dieselben bestehen aus einem cylindrischen Stück Glas, dessen beide Endflächen convex geschliffen, jedoch zur Verminderung der Aberration ungleich gekrümmt sind (Fig. 130). Gewöhnlich wird die schwächere Krümmung dem Object zugewendet. Die Cylinderloupen liefern etwas weniger voll-



Figur 130.

kommene Bilder, als die Coddington'schen, und sind wie diese mit dem Nachtheil einer kurzen Focaldistanz behaftet; dessenungeachtet müssen sie immer noch zu den besten und wohlfeilsten Loupen gezählt werden. Kehrt man die stärkere Krümmung dem Objecte zu, so gewinnt man dadurch einen grösseren Objectabstand; allein die Aberrationen sind in dieser Stellung merklich grösser und folglich die Bilder weniger scharf.

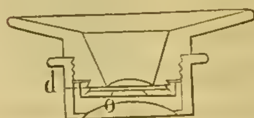
215 In neuester Zeit, etwa seit 1830, kamen die aus zwei oder drei Planconvexlinsen bestehenden Systeme, die sogenannten Doublets und Triplets, mehr in Aufschwung. Zwar hatten sich schon frühere Optiker, namentlich Euler und John Herschel, vielfach mit solchen Linsencombinationen beschäftigt; allein bei der Unmöglichkeit, den Ergebnissen der Rechnung beim Schleifen der Linsen Genüge zu leisten, waren die theoretisch wohl begründeten Ansichten von geringer praktischer Bedeutung. Wollaston war der erste, welcher die Schärfe des Bildes mehr durch den relativen Abstand der Linsen, den er durch den Versuch bestimmte, als durch die genaue Form derselben, zu steigern verstand. Seine Doublets bestehen aus zwei mit der ebenen Fläche nach unten gewendeten Planconvexlinsen, deren Brennweiten sich ungefähr wie 3 zu 1 verhalten und welche so übereinander geschraubt sind, dass der Abstand der ebenen Flächen c. 1,5 der kürzeren Brennweite (Fig. 131) beträgt. Der Beifall und die Aufmerksamkeit, welche diese Doublets erregten, führten bald zu weiteren Verbesserungen.



Figur 131.

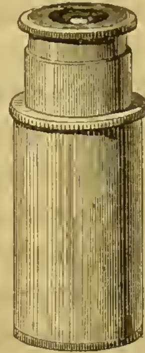
Pritchard fand, dass die günstigste Entfernung der beiden Linsen der Differenz ihrer Brennweiten gleich sei, dass aber diese letzteren innerhalb gewisser Grenzen (z. B. zwischen dem Verhältniss 1:3 und 1:6) variiren können. Er verfertigte Doublets, deren Leistungen nach Mohl in Hinsicht auf Klarheit und Schärfe des Bildes bis zu einer Vergrösserung von c. 200 Mal überraschend sind, und wovon die schwächeren sich ganz besonders dazu eignen, um unter ihnen zu präpariren. Die stärksten, welche etwas über 300 Mal vergrössern, lassen die 6te Gruppe der Nobert'schen Probetäfelchen noch deutlich erkennen.

Chevalier stellte zwei planconvexe Linsen von gleicher Brennweite, aber ungleicher Grösse (Fig. 132) sehr nahe und zwar so übereinander, dass die grössere dem Object zugekehrt war. Zwischen beiden befand sich ein Diaphragma *d*



Figur 132.

mit der Oeffnung *o*. Chevalier erzielte dadurch eine grössere Lichtstärke und zugleich einen grösseren Abstand des Objects von der ersten brechenden Fläche. Um diesen Abstand bei schwächeren Vergrösserungen, wie sie zum Präpariren auf dem Objecttisch benutzt werden, noch mehr zu steigern, brachte er über dem Doublet eine achromatische Concavlinse an, welche nicht bloss dem beabsichtigten Zweck entspricht, sondern auch die Vergrösserung etwas verstärkt, — eine Einrichtung, welche späterhin auch Brücke*) für seine achromatische Stativloupe (Fig. 133) benutzte.



Figur 133.

Die Doublets von Chevalier halten den Pritchard'schen, nach den Beobachtungen Harting's zu schliessen, so ziemlich die Wage. Bei einer 48 maligen Vergrösserung waren auf dem Nobert'schen Probetäfelchen die Striche der ersten Gruppe, bei einer 317 maligen die der 6ten Gruppe erkennbar.

Die beiden genannten Optiker verfertigten überdiess auch Triplets, deren Construction im Wesentlichen auf dem nämlichen Princip beruht. Dieselben bestehen aus drei planconvexen Linsen von verschiedener Brennweite und geben, wenn auf die Herstellung die nöthige Sorgfalt verwendet wird, noch etwas schärfere Bilder, als die Doublets.

Es lässt sich nicht läugnen, dass die Wollaston'sche Idee, das 216
Hauptaugenmerk auf die relativen Abstände der Linsen zu richten, für die praktische Optik eine höchst glückliche war und in einem Zeitraum von wenigen Jahren zu wesentlichen Verbesserungen führte. Das Doublet erreichte einen Grad der Vollkommenheit, welcher auch gegenwärtig noch in manchen praktischen Fällen vollkommen genügt. Allein die besten Combinationen dieser Art leiden doch immer in sehr erheblichem Grade an mangelhafter Verbesserung der sphärischen und insbesondere der chromatischen Aberration**), was natür-

---

*) Sitzungsberichte der k. k. Akad. zu Wien 1851. Bd. VI. p. 554. — Wir finden diese Brücke'sche Loupe nur in den Preisverzeichnissen von Nachet, Schiek und Belthle besonders angeführt. Obige Figur ist dem Katalog von Nachet entnommen.

**) Die chromatische Aberration durch eine Verbindung von 2 oder mehreren planconvexen Linsen zu beseitigen, ist principiell unmöglich; durch richtige Wahl der relativen Abstände wird höchstens der Parallelismus der rothen und violetten Strahlenbündel, resp. ihrer Axen, hergestellt, wie diess bereits bei Besprechung der Oculare erörtert wurde. Eine Kreuzung der optisch wirksamen

lich um so fühlbarer wird, je stärker die Vergrösserung. Sie stehen daher den neueren achromatischen Systemen hinsichtlich des optischen Vermögens entschieden nach. Ihre praktische Verwendbarkeit beschränkt sich gegenwärtig fast nur noch auf die Loupe und das Präparirmikroskop, wo sie bis zu einer Vergrösserung von circa 60—100 Mal in der That auch ganz brauchbar sind; allein es fragt sich, ob sie nicht auch auf diesem Felde den aplanatischen Systemen mit der Zeit weichen müssen, da diese letzteren bereits bis zu den schwächsten Vergrösserungen von circa 5—10 Mal vielfach in Gebrauch sind.

217 Zur Vergleichung der Leistungen neuerer Doublets und Loupen theilen wir nachstehend einige Beobachtungen mit, welche in derselben Weise, wie bei der Prüfung des zusammengesetzten Mikroskops, angestellt wurden. Die Brennweiten und Objectabstände (für die Cylinderloupen die den beiden Stellungen entsprechenden) sind in Millimetern angegeben.

	Bezeichnung.	Brennweite der vordern Linse.	Brennweite der hinteren Linse.	Gesammtbrennweite.	Objectabstand.	Vergrösserung bei 25 Cent. Sehweite.	Durchm. eben noch erkennbarer Maschen in Mik.
Zeiss	30	12,2	17	7,3	5,3	33	3,85
»	60	5,2	8,5	3,78	2	64	2,3
»	120	2,53	4,25	1,72	—	140	1,3
»	Triplet	0,92	2,3 ; 3,7	0,73	—	330	0,7
»	Loupe	40	38	21	11	12	17
Bénèche	Nr. 1	23,25	23,25	12,5	8,5	19	6,7
»	Nr. 2	8,09	23,25	6,68	3,8	36	3,5
»	Nr. 3	5,22	11,75	3,93	2,5	62	2,3
——	Cylinderloupe.	—	—	18,5	{8,5 / 10}	13,5	16
——	Cylinderloupe.	—	—	14	{6 / 8}	18	12
——	Loupe.	—	—	44	39	4,5	32

Wie man aus dieser Zusammenstellung ersicht, leisten die Doublets von Zeiss und Bénèche ungefähr so viel, als ein zusammen-

Strahlenbündel zwischen den brechenden Flächen findet nicht statt. In dieser Beziehung ist die Darstellung Harting's (Mikr. p. 113 u. Fig. VIII der beigegebenen Tafel) durchaus unrichtig, weil der von ihm angenommene Strahlenverlauf für das beobachtende Auge nicht existirt. Wie sollten auch die austretenden Lichtbündel, wenn sie so stark divergiren, wie in der citirten Figur, durch eine Pupille von 2—3 m.m. Durchmesser auf die Netzhaut gelangen?

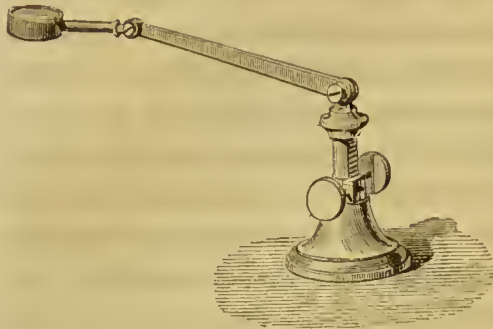
gesetztes Mikroskop mit gleich starker Gesammtvergrösserung. Das Triplet von Zeiss hält sogar den Objectiven Nr. 7 von Hartnack und Nr. 9 von Bénèche das Gleichgewicht; es zeigt auch die Querstreifen von Pleurosigma attenuatum bei geradem Licht mit wenigstens gleicher Deutlichkeit. Doch gilt das alles nur für den Fall, dass das Object genau in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht wird; in jeder anderen Lage ist das Bild unbrauchbar. Dazu kommt, dass das Sehen durch eine kleine Blendung von nur 0,7 m.m. Durchmesser, wie sie Zeiss bei seinen Triplets sowohl als bei den stärksten Doublets über den Linsen anbringt, sehr bald ermüdet. Die Preise betreffend, so sind zwar die Doublets beträchtlich billiger, als achromatische Objective; sie werden von Zeiss zu 2—3 Thlr., Triplets von 200—300facher Vergrösserung zu 6—8 Thlr. geliefert, während ein Objectivsystem immerhin doppelt so viel kostet. Allein ein vollständig ausgestattetes einfaches Mikroskop kommt dessenungeachtet auf 26 Thlr. (bei Plössl auf 59 fl. österr. W.) zu stehen, welche Summe gerade ausreicht, um sich ein kleines zusammengesetztes Mikroskop von Baader zu kaufen.

C. Die mechanische Einrichtung.

Ueber die Fassungen der Linsen und Linsensysteme, sowie fer- 218
ner die Vorrichtungen, welche zu ihrer Befestigung dienen, können wir uns kurz fassen, da in diesem Punct jedes namhafte optische Institut allen Anforderungen, die man billiger Weise stellen kann, genügt. Es versteht sich von selbst, dass der Beobachter unter den mancherlei Formen und Einrichtungen, welche käuflich zu haben sind, sich diejenige auszuwählen hat, welche dem Gebrauche, den er davon zu machen beabsichtigt, am besten entspricht. Wer ganz specielle Zwecke verfolgt, dem kann man es füglich überlassen, sich einen geeigneten Apparat selbst auszudenken und herzustellen.

Die Loupenträger, welche in mikrographischen Werken beschrieben sind, stimmen alle darin überein, dass sie mit einem beweglichen, oft mit Gelenken versehenen Arm ausgestattet sind, welcher auf einem Kästchen oder an einer senkrechten Stange dergestalt befestigt ist, dass sein freies Ende, welches die Loupe trägt, durch Drehen oder Verschieben in jede beliebige Lage gebracht werden kann. Eines der zweckmässigsten Gestelle dieser Art, das in den meisten Fällen ein complicirteres Stativ ersetzt, scheint uns das von Mohl (Mikr. p. 35) empfohlene zu sein. Es ist ein Kästchen von etwa 15—20 Centimeter Länge auf 8 Centimeter Breite und Höhe, welches auf

der dem Fenster zugewendeten Seite offen ist und einen Planspiegel enthält, der mittelst eines auf der rechten Seite hervorragenden Knopfes um eine horizontale Axe gedreht werden kann. Auf der oberen Seite ist eine durch eine Glasplatte zu verschliessende Oeffnung angebracht; ein mit zwei Charniergelenken versehener, am Kästchen angeschraubter Arm trägt die Loupe. — Ein einfacher Loupenträger neuester Construction, wie ihn Nachet zu 15 Fr. und ohne Trieb zu 8 Fr. liefert, ist in Fig. 134 dargestellt.



Figur 134.

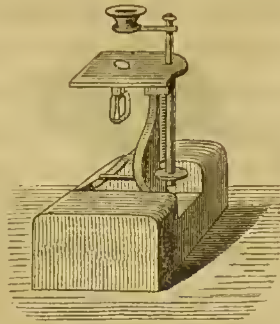
Das Stativ des einfachen Mikroskops lässt natürlich ebenfalls mannigfache Modificationen zu. Die Hauptcrfordernisse, welche der Optiker im Auge zu behalten hat, sind etwa folgende: 1) ein feststehender, nicht zu kleiner Objecttisch, auf welchem eine Klemmfeder oder eine andere geeignete Vorrichtung zum Festhalten der Objectträger anzubringen ist; 2) ein Fussgestell, welches den Händen während der Zergliederung auf dem Objecttisch einen bequemen Stützpunct bietet; 3) eine passende Vorrichtung zur scharfen Einstellung, wobei die Linse gegen das Object und nicht umgekehrt dieses gegen jene beweglich sein soll; 4) ein zweckmässiger Beleuchtungsapparat, welcher nöthigenfalls Lichtkegel zu liefern vermag, die die Oeffnung des Linsensystems oder die Pupille des beobachtenden Auges ganz ausfüllen.

219 Die Einzelnheiten der Einrichtung können wir um so eher mit Stillschweigen übergehen, als das Urtheil hierüber in den meisten Puncten doch nur von Liebhaberei und Gewohnheit abhängt, also ein rein individuelles ist. Wir beschränken uns darauf, einige der bekannteren Stative in Kürze zu beschreiben und durch Abbildungen zu veranschaulichen; der Leser mag Lob oder Tadel nach eigenem Ermessen selbst hinzufügen.

Karl Zeiss in Jena giebt seinen einfachen Mikroskopen, die schon seit Jahren rühmlichst bekannt sind, einen ziemlich schweren Holzfuss, der beiderseits eine hervorragende Backe zum Auflegen der Hände besitzt (Fig. 135). Ueber dem Beleuchtungsspiegel ist eine Convexlinse angebracht, welche seitlich verschoben werden kann. Der Tisch ist feststehend und die Einstellung doppelter Art. —

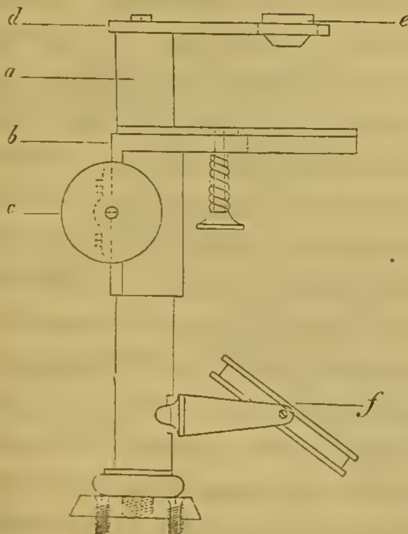
Ausserdem verfertigt Zeiss auch etwas complicirtere Stative, die auch für schiefe Beleuchtung eingerichtet sind.

Bénèche in Berlin führt ein ähnliches Stativ, bei welchem die gröbere Einstellung durch Auf- und Niederbewegung des Linsenarmes, die feinere durch Mikrometerbewegung nach Nobert geschieht; ferner ein etwas anders construirtes, mit flachem zum Transport bequemen Kasten als Fuss und einem Triebwerk zur groben und feinen Einstellung. Mit diesem letzteren stimmt im Wesentlichen auch das einfache Mikroskop von Schiek in Berlin überein.

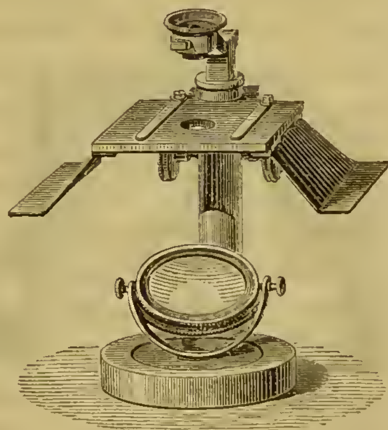


Figur 135.

Das Stativ von Simon Plössl in Wien (Fig. 136) hat eine dreiseitige Stange *a* von 10 Centimeter Höhe, in deren hintere Seite die Säge für den Trieb *c* eingelassen ist. Als Fussgestell dient ein kleiner Kasten, auf dessen Deckel die Mikroskopsäule aufgeschraubt wird. Der Objecttisch *b* ist viereckig und wird durch den Trieb gegen die feststehende Linse *e* bewegt; auf seiner obern Seite ist eine hufeisenförmige Federklammer angebracht, welche durch eine Spiralfeder nach unten gezogen wird. Zur Beleuchtung dient ein Concavspiegel *f* von 2,5 Centimeter Durchmesser. — Eine ähnliche Einrichtung besitzt auch das einfache Mikroskop von Körner in Jena.



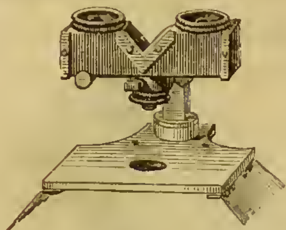
Figur 136.



Figur 137.

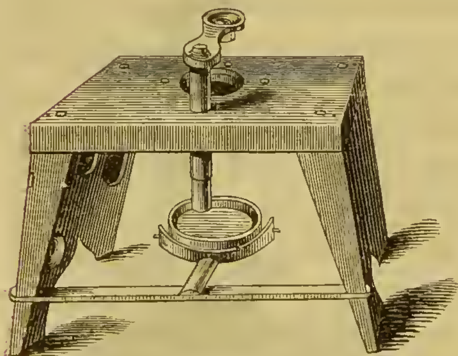
Das Dissectionsmikroskop von Nachet und Sohn in Paris ist 220
in Fig. 137 dargestellt. Die Einstellung geschicht durch ein Getriebe,

welches die Linsen auf und nieder bewegt. Zwei am Objecttisch angebrachte Flügel dienen zum Auflegen der Hände während des Präparirens. — Auf Verlangen wird diesem Instrument noch ein binoculärer Apparat (appareil binoculaire de dissection, Fig. 138) beigegeben, welcher stereoskopische Bilder liefert.

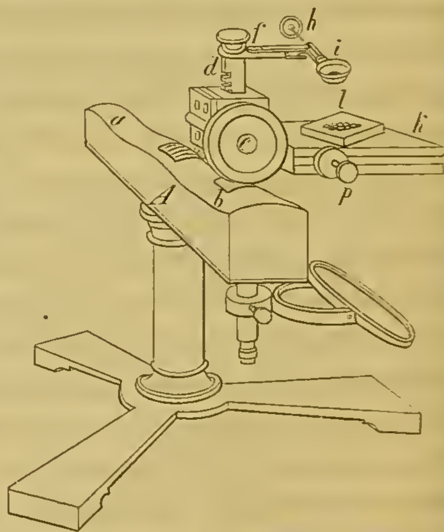


Figur 138.

Unter der grossen Anzahl von Stativen, welche von englischen Optikern ausgeführt werden, wollen wir hier nur zwei ihrer Eigenthümlichkeit wegen hervorheben, das eine mit sehr einfacher, das andere mit sehr complicirter Einrichtung. Einfach und zweckmässig ist das Taschen- und Dissectionsmikroskop von Quekett (Fig. 139) zu nennen. Dasselbe hat, wenn es eben gebraucht wird, die Form eines quadratischen Schemels mit keilförmigen Seitentheilen, welche das Fussgestell bilden. Diese Füsse sind durch Charniergelenke mit der Objectplatte verbunden und können nach Wegnahme des Spiegels nach innen zusammengeschlagen werden, so dass sie einander decken. Auf ihrer Innenseite und auf der Unterseite des Tisches befinden sich Ausschnitte, welche zur Aufnahme des Spiegels und der Linsen dienen. Ist das Instrument zusammengelegt, so beträgt seine Höhe circa $40^{\text{m.m.}}$, seine Länge und Breite circa 14 Centimeter.



Figur 139.



Figur 140.

Als Beispiel eines complicirten Stativs mag hier dasjenige von Pritchard in London (welches übrigens noch keineswegs zu den complicirtesten gehört) Erwähnung finden. Dasselbe hat einen schweren Dreifuss mit fester, runder Messingsäule (Fig. 140), womit die

übrigen Theile des Instruments verbunden sind. Auf der Säule ruht ferner ein Holzkolben *A*, welcher zum Auflegen der Hände bestimmt und zu diesem Ende beiderseits bei *a* und *b* etwas ausgehöhlt ist. Der viereckige Objecttisch *k* hat einen durch zwei hervorragende Knöpfe *p* verschiebbaren Schlitten und trägt ein kleines Kästchen *l* mit Glasboden, in welches die zu präparirenden Objecte kommen. Die Einstellung geschieht durch Hebung oder Senkung des Linsenarmes *f* mittelst Zahn und Trieb (*d* und *e*). Der Linsenarm selbst ist in einer horizontalen Ebene drehbar und am Ende *h* zum Ueberfluss mit einem Kugelgelenk versehen, wodurch sein vorderes Ende, das die Linsen *i* trägt, nach allen Richtungen beweglich wird.

Die übrigen Gestelle, welche in England verfertigt werden, stimmen entweder mit den bereits beschriebenen in der Hauptsache überein oder sind zu complicirt, als dass sie in Deutschland Verbreitung finden könnten.

II.

Das Bildmikroskop.

Was nun noch die Bildmikroskope betrifft, so brauchen wir 221
hierüber nicht viel Worte zu machen. Die einzige Bedeutung, die sie wenigstens indirect für die Wissenschaft haben, besteht darin, dass sie das vergrösserte Bild eines Gegenstandes vielen Zuschauern auf einmal vorzuführen gestatten, was allerdings bei Vorlesungen vor einem grösseren Publicum ein nicht unerheblicher Vorzug ist. Ihre Anwendbarkeit beschränkt sich indess auch hiebei vorzugsweise auf Objecte, welche mit dem zusammengesetzten Mikroskop schon bei schwächerer Vergrösserung deutlich gesehen werden; feinere Structurverhältnisse, welche stärkere Objective erfordern, werden im Bilde nicht scharf genug wiedergegeben, um sie Unkundigen demonstriren zu können. Es gilt diess namentlich für den Fall, dass die Beleuchtung durch elektrisches Licht oder durch das Drummond'sche Kalklicht vermittelt wird, welche beide dem directen Sonnenlicht an Intensität bedeutend nachstehen. Ueberdiess ist der Gebrauch des Instruments mit mancherlei Umständlichkeiten verknüpft, welche den praktischen Werth desselben wesentlich beeinträchtigen. Wir halten desshalb gute Abbildungen zum Zwecke der Demonstration immer noch für geeigneter, als die verschwommenen Bilder eines elektrischen oder Gasmikroskops.

Die Objective der Bildmikroskope haben genau dieselbe Einrichtung, wie die der zusammengesetzten Mikroskope; nur werden die Flint- und Kronglaslinsen gewöhnlich nicht mit Canadabalsam zusammengekittet, weil dieses Verbindungsmittel durch die Wärme, welche die Beleuchtung verursacht, getrübt werden könnte. Indessen bemerkt Mohl, dass er gewöhnliche Objective ohne Schaden im Sonnenmikroskop angewendet und dass auch Plössl ihm geschrieben habe, er hätte nicht gefunden, dass das Zusammenkitten Schaden verursache.

Die mechanische Einrichtung des Beleuchtungsapparates ist natürlich je nach der Lichtquelle, die man benutzt, verschieden. Wir glauben indess auf eine Beschreibung derselben um so eher verzichten zu dürfen, als die in neuerer Zeit gebräuchlichen Apparate in jedem vollständigeren physikalischen Lehrbuch in Kürze besprochen sind und eine ausführliche Auseinandersetzung derselben, die jedenfalls mit zahlreichen Abbildungen begleitet sein müsste, um verständlich zu sein, nicht in unserer Aufgabe liegt.

Sechster Abschnitt.

Mikroskopische Technik.

I.

Der Gebrauch des Mikroskops.

Es liegt in der Natur der Sache, dass die mancherlei Regeln und Kunstgriffe, deren Kenntniss die mikroskopische Beobachtung voraussezt, sich immer am leichtesten durch die praktische Unterweisung lehren und lernen lassen, und dass auch hiebei die eigene Uebung, die der Anfänger sich nach und nach erwirbt, stets die Hauptsache bleibt. Eine Anleitung durch das geschriebene Wort, wie wir sie hier zu bieten versuchen, scheint uns aber trotzdem nicht ganz überflüssig, da sie Denjenigen, welche jene praktische Schule in ungenügender Weise oder gar nicht genossen haben, immerhin einigen Ersatz gewähren und manchen Missgriff ersparen wird. Alles, was sich auf specielle Untersuchungen aus dem Gebiete der Anatomie, Morphologie etc., auf die Anwendung der Reagentien u. dgl. bezieht, glaubten wir indess zweckdienlicher für die betreffenden Kapitel aufzusparen, so dass uns hier nur einige allgemeinere Fragen zur Besprechung übrig bleiben. 222

1. Die Beleuchtung.

Für jede mikroskopische Untersuchung ist zunächst eine günstige Beleuchtung von Wichtigkeit. Da dieselbe zum Theil von der Lage des Arbeitszimmers abhängt, so ist die Wahl des letzteren wo möglich so zu treffen, dass ein grösserer Theil des Himmels als Lichtquelle benutzt werden kann, ohne dass directes Sonnenlicht mit wirksam würde. Am geeignetsten ist natürlich ein Local mit Nordlicht und freier Aussicht, oder ein nach zwei Seiten mit Fenstern verseh- 223

nes Eckzimmer, in welchem alsdann je nach dem Stand der Sonne die eine oder andere Seite in Gebrauch kommt. Reflectirtes Licht von gegenüberliegenden Gebäulichkeiten kann zwar unter Umständen ganz brauchbar sein; doch beschränkt sich seine Anwendbarkeit im günstigsten Fall auf bestimmte Tageszeiten. Desshalb sind in den Strassen der Städte die oberen Stockwerke der Häuser, welche die Strahlung des hellen Himmels bis in die Nähe des Horizontes zu verwerthen gestatten, vorzuziehen und Parterrewohnungen in engen Gassen gänzlich zu vermeiden.

Der zur Beleuchtung günstigste Zustand des Himmels ist nach unserem Darfürhalten eine gleichmässige hellgraue Bewölkung; das reine Blau gibt zwar ebenfalls ein ganz angenehmes Licht, ist jedoch für die stärksten Objective nicht intensiv genug, um ihre ganze Kraft zu entwickeln. In schwierigeren Fällen leistet daher bei klarem Himmel eine weisse oder gelblichweisse, von der Sonne beschienene Wand bessere Dienste. Am ungünstigsten sind rasch vorüberziehende helle Wolken, weil das Auge bei dem fortwährenden Wechsel der Helligkeit und Farbe rasch ermüdet. Ebenso ist das blendende Licht, welches von der unmittelbaren Umgebung der Sonne ausgeht, zu vermeiden, oder wenn kein besseres zur Verfügung steht, durch Vorziehen weisser Rouleaux oder Gardinen zu dämpfen.

224 In Betreff der Aufstellung des Mikroskops findet man gewöhnlich angegeben, eine Entfernung von 6 — 9 Fuss vom Fenster sei in schwierigen Fällen der gewöhnlichen von c. 3 Fuss vorzuziehen, weil dadurch ein günstigerer Lichteffect erzielt werde. Nach dem, was oben über die Beleuchtung mitgetheilt wurde, kann jedoch die Entfernung vom Fenster offenbar nur dann von irgend einem Einfluss sein, wenn dadurch die Oeffnung des einfallenden Lichtkegels bedingt wird, was bei Anwendung kleiner Blendungen, wie man sie gewöhnlich für stärkere Vergrösserungen gebraucht, nicht der Fall ist. Wendet man schiefes Licht an, so muss unter allen Umständen, die Entfernung mag grösser oder kleiner sein, dafür gesorgt werden, dass das vom Tisch und Stativ reflectirte Licht abgehalten wird, was am besten durch besonders hiefür bestimmte Blendungen mit seitlichen Oeffnungen oder auch durch seitliche Verschiebung der Blendungsöffnungen geschieht. Ebenso nothwendig ist bei manchen Untersuchungen der Ausschluss des von oben auf das Object einfallenden Lichtes, sei es nun durch Vorhalten der Hand oder mittelst eines Schirmes, weil dasselbe sowohl die Annehmlichkeit, als auch die

Sicherheit der Beobachtung beeinträchtigt. Kurz, die Beleuchtung muss in allen schwierigen Fällen so regulirt werden, dass ausser dem einfallenden Lichtkegel von bestimmter Oeffnung und Neigung kein anderes Licht das Gesichtsfeld erreicht.

Welche Oeffnung oder Neigung des einfallenden Lichtkegels die günstigste sei, muss natürlich in jedem gegebenen Falle durch Probiren ermittelt werden. Man dreht oder verstellt den Spiegel und nöthigenfalls das ganze Instrument, indem man gleichzeitig durchs Ocular sieht, nach verschiedenen Richtungen und beobachtet dabei die Wirkung grösserer und kleinerer Blendungen oder bewegt dieselben, wenn die Einrichtung des Stativs diess gestattet, in der Richtung der Axe auf und nieder. Diese Versuche setzt man fort, bis man die günstigste Art der Beleuchtung ermittelt hat. Als Regel gilt im Allgemeinen, dass Streifungen, Liniensysteme u. dgl. am deutlichsten hervortreten, wenn das Licht möglichst schief darauf einfällt, wobei unter allen Umständen die gegenseitige Stellung von Spiegel und Object so gewählt werden muss, dass die Richtung der einfallenden Strahlen auf den Streifungen senkrecht steht.

Da die Lichtquelle in den meisten praktischen Fällen eine begrenzte oder ungleichmässig leuchtende ist, so liefert der Concavspiegel aus früher angegebenen Gründen in der Regel ein intensiveres Licht als der Planspiegel, d. h. er bedingt bei gleicher Oeffnung des einfallenden Lichtkegels eine grössere Helligkeit des Gesichtsfeldes. Bei starken Vergrösserungen bietet daher der Concavspiegel entschiedene Vortheile; bei schwächeren kann man des Guten auch leicht zu viel thun, weil ein zu grell erleuchtetes Gesichtsfeld die Augen angreift und rasch ermüdet. Die Anwendung von Beleuchtungslinsen oder Condensatoren ist in den meisten Fällen, wenn anders der Spiegel hinreichend gross ist und ziemlich nahe gerückt werden kann, überflüssig; sie hat nur da einen Sinn, wo man die Oeffnung des einfallenden Lichtkegels zu vergrössern beabsichtigt.

Wendet man auffallendes Licht zur Beleuchtung an, so 225
genügt es in den meisten Fällen, das Mikroskop dem Fenster soviel als möglich zu nähern, indem dadurch eine ziemlich ausgedehnte Fläche der Lichtquelle wirksam gemacht wird. Bei Vergrösserungen, welche über 100 – 120 Mal hinausgehen, ist die Anwendung einer Beleuchtungslinse oder des Lieberkühn'schen Spiegels zu empfehlen. In einzelnen Fällen mag auch directes Sonnenlicht, das man durch Schiefhalten des Mikroskopstativs unmittelbar zwischen Objectiv und Object einfallen lässt, mit Vortheil zur Anwendung kommen;

wir bezweifeln indess die Richtigkeit der Schacht'schen Angabe, dass man auf diese Weise die drei Liniensysteme von *Pleurosigma angulatum* bei gleicher Vergrösserung deutlicher sehe, als mit gewöhnlichem durchfallendem Lichte, und möchten überhaupt die genannte Beleuchtungsmethode für transparente Objecte nicht empfehlen.

Künstliche Beleuchtung durch Lampenlicht ist bei zweckmässiger Dämpfung desselben durch mattgeschliffenes oder kobaltblaues Glas für manche Untersuchungen ganz brauchbar, greift jedoch die Augen immer etwas mehr an, als das jedenfalls weit angenehmere Tageslicht. Schon um desswillen sollte es sich Jeder, dem die Augen lieb sind, zur Regel machen, anhaltendere mikroskopische Beobachtungen auf den Tag zu beschränken. Nur wo, wie in England und im nördlichen Europa, das trübe Tageslicht oft für längere Zeit nicht mehr ausreicht, bleibt schlechterdings kein anderer Ausweg, als eine möglichst günstige künstliche Beleuchtung herzustellen. Dass hiebei die Brennweite des Hohlspiegels oder der Beleuchtungslinse mit zu berücksichtigen ist, wenn die Convergenz der einfallenden Strahlen ein Maximum erreichen soll, bedarf nach dem früher Gesagten keiner Erörterung.

2. Die Wahl der Vergrösserung.

226 Das zu untersuchende Präparat wird zur vorläufigen Orientirung zweckmässig zuerst bei schwacher Vergrösserung betrachtet, weil man dadurch einen besseren Ueberblick über das vorhandene Material gewinnt und sich die besten Stellen der Schnitte oder die günstigsten Objecte zur genaueren Beobachtung bequem heraussuchen kann. Ist das schwächste Objectivsystem, welches zur Verfügung steht, noch zu stark, so kann eine weitere Verkleinerung des Bildes durch Verkürzung der Mikroskopröhre oder auch durch Abschrauben der vorderen Objectivlinsen erzielt werden. Die Schärfe des Bildes erfährt jedoch in letzterem Falle, wenn das Objectiv nicht besonders hiefür construirt ist, eine merkliche Abnahme.

Geht man zu stärkeren Vergrösserungen über, so vergesse man nicht, dass das optische Vermögen vorzugsweise von der Brennweite der Objective, nicht von der Stärke der Oculare abhängt. Die Anwendung starker Oculare, d. h. solcher, welche 10 Mal und darüber vergrössern, gewährt in der Regel nur in solchen Fällen noch einige Vortheile, wo es sich um die Bestimmung von Formverhältnissen oder um die Vergleichung sehr kleiner Abstände handelt. Neue

Details im Bilde wird man damit um so weniger wahrnehmen, je unvollkommener das Objectiv und je länger die Mikroskopröhre; die allerstärksten Nummern zeigen sogar in den meisten Fällen entschieden weniger, als die vorausgehenden schwächeren.

Welche Vergrösserungen sich für eine bestimmte Arbeit am besten eignen, wird Jeder, welcher das Mikroskop zu wissenschaftlichen Zwecken gebrauchen will, sehr bald beurtheilen lernen. Dass Immersionssysteme und andere von gleicher Stärke nur in ganz speciellen Fällen, wo es sich um schwer zu erkennende Einzelheiten der Structur u. dgl. handelt, Anwendung finden, ist an und für sich klar.

3. Vom Gebrauch der Deckgläser.

Die meisten mikroskopischen Präparate werden in Wasser oder **227**
in irgend einem anderen flüssigen Medium untersucht, sei es, dass man damit bloss die Ablenkung der Lichtstrahlen verringern oder aber die Erhaltung des Objects in einem bestimmten Zustande — trocken, weich, aufgequollen etc. — erzielen wolle. Da nun diese Flüssigkeiten, wenn die Gegenstände nicht darin untergetaucht sind, die bekannten Adhäsionserscheinungen zeigen und in Folge dessen eine sehr unebene Oberfläche erhalten, so ist es für stärkere Vergrösserungen schon aus optischen Gründen nothwendig, Deckgläschen anzuwenden, welche die Oberfläche ebnen. Ueberdiess wird dadurch ein zu rasches Verdunsten der Flüssigkeit und das Beschlagen oder Eintauchen der Linsen in dieselbe vermieden. Bei schwächeren Vergrösserungen kann dagegen das Präparat auch unbedeckt bleiben, und es ist sogar in manchen Fällen, namentlich wenn man noch eine weitere Zergliederung desselben vornehmen will, ganz zweckmässig, es nicht zu bedecken.

Sind die Präparate der Art, dass es von Nutzen sein kann, dieselben umzukehren und von der unteren Seite zu betrachten, so thut man am besten, sie zwischen zwei grössere Deckplättchen zu bringen, die dann nach Belieben gewendet werden. Dieses Verfahren gewährt beim Studium übereinander liegender Zellschichten oder auch beliebiger anderer Objecte, deren räumliche Anordnung man kennen lernen will, oft wesentliche Vortheile.

Die Dicke der Deckgläschen ist für schwächere Objective ziemlich gleichgültig; die Wahl hat sich also mehr nach anderen Rücksichten, wie z. B. nach dem Druck zu richten, den man auf das Präparat ausüben will. Stärkere Systeme sind dagegen meist für dünne Deckgläschen construirt und erfordern, sobald die Dicke $1/2$ m. m.

und darüber beträgt, eine Correction. Bei ganz starken Objectiven sind schon wegen der äusserst geringen Focaldistanz nur die dünnsten Deckgläschen anwendbar.

Wo es darauf ankommt, das Präparat vor jedem noch so geringen Druck zu schützen, wird irgend ein geeigneter Gegenstand, wie z. B. ein Haar, eine Borste, ein Stück Papier oder Stanniol u. dgl. unter das Deckgläschen gebracht, wobei natürlich der Objectabstand des Mikroskops mit zu berücksichtigen ist. Der Anfänger macht oft genug die Erfahrung, dass die Einstellung auf das zu untersuchende Object durch die beträchtliche Dicke der Flüssigkeitsschicht, welche darüber liegt, unmöglich gemacht wird, und bei sehr starken Objectiven kann dasselbe auch dem Geübten passiren. Zur Vermeidung dieses Uebelstandes ist es in der Regel vortheilhafter, das Deckglas nur mit dem einem Rande aufzulegen und hierauf nöthigenfalls soweit zu verschieben, bis sich das Object an einer hinreichend dünnen Stelle der keilförmigen Wasserschicht befindet.

Dass die Deckgläschen möglichst rein sein müssen und folglich auf dem optisch wirksamen Theil der Oberfläche nicht mit den Fingern berührt werden dürfen, ist selbstverständlich.

4. Die Behandlung des Instruments.

228 Wer sein Mikroskop schonen und dessen ursprüngliche Leistungsfähigkeit unverändert erhalten will, muss vor Allem darauf bedacht sein, die Linsen des Objectivs, wie des Oculars, nach jeder Verunreinigung, die während des Gebrauchs stattgefunden, sorgfältig zu reinigen. Namentlich versäume man nicht, die Vorderfläche des benutzten Objectivsystems jedesmal nach geschehener Arbeit zu prüfen, da eintrocknende Flüssigkeiten, wie überhaupt alle Verunreinigungen, die allfällig daran haften geblieben sein können, leicht nachtheilig wirken. Die grösste Vorsicht erfordert aber immer die Anwendung von chemischen Reagentien während der Beobachtung, insbesondere solcher, welche das Blei des Flintglases afficiren. Chemische Proceduren, welche Schwefelwasserstoff, Chlor, Dämpfe flüchtiger Säuren und ähnliche Gase entwickeln, sollten nie im Zimmer, wo das Mikroskop steht, vorgenommen werden. Chlorsaures Kali mit concentrirter Salpetersäure, rauchende Salzsäure u. dgl. erfordern zum Schutz des Objectivs schon bei gewöhnlicher Temperatur möglichst grosse Deckgläschen und dürfen erhitzt nicht unter das Mikroskop gebracht werden.

Ist trotz aller Vorsicht eine Linse von dem Reagens benetzt wor-

den, so spült man dieselbe zunächst mit destillirtem Wasser ab und reinigt sie nachher in gewohnter Weise. Am besten geschieht diess wohl mit einem feinen, durch öfteres Waschen weich gewordenen Tuch oder auch mit weichem Leder. Andere pflegen zur weiteren Reinigung die frische Schnittfläche von trockenem Fliedermark zu verwenden, dessen auf der Linse zurückgebliebene Partikelchen sie endlich mit einem reinen Haarpinsel entfernen — ein gewiss ganz gutes, aber etwas umständliches Verfahren.

Wer das Mikroskop täglich benutzt und sich das jedesmalige Ein- und Auspacken ersparen will, bringt dasselbe zweckmässig unter eine Glasglocke oder bedeckt es vollständig mit einem Tuch, indem dadurch Stativ und Linsen hinlänglich vor Staub geschützt werden. Manche Beobachter pflegen übrigens in solchen Dingen nicht sehr ängstlich zu sein; sie verwahren höchstenss das Objectiv in dem hiezu bestimmten Etui, bedecken das Ocular und lassen das Instrument so stehen. Wir haben auch nicht gefunden, dass Mikroskope, welche sogar mit angeschraubtem Objectiv Jahre lang so behandelt wurden, dabei irgendwie gelitten hätten. Doch ist es immer besser, man thue des Guten eher zu viel, als zu wenig.

Um das Beschlagen der Ocularlinse mit Wasserdunst während der Beobachtung zu vermeiden, kann man entweder das Ocular schwach erwärmen oder das ganze Instrument vor dem Gebrauch in ein warmes Zimmer stellen.

5. Schonung des Sehvermögens.

Wer ein einigermaassen ausdauerndes Sehwerkzeug besitzt, wird 229
sich bald daran gewöhnt haben, täglich mehrere Stunden ohne irgend welche Nachtheile mikroskopischen Arbeiten zu widmen; nur mache man sich's zur Regel, die ersten Morgenstunden und die Zeit unmittelbar nach dem Mittagessen zu vermeiden. Stellt sich eine Ermüdung oder eine gewisse Reizbarkeit der Augen ein, so setze man für einige Tage aus.

Ob man das unthätige Auge während der Beobachtung schliesse oder offen behalte, ist ziemlich gleichgültig; man gewöhne sich aber, abwechselnd mit dem rechten und linken Auge zu beobachten. Beide Augen erfahren alsdann dieselben Veränderungen; sie stimmen — vorausgesetzt, dass sie ursprünglich gleich waren — zeitlebens sowohl im Sehvermögen, als in der Sehweite überein, während sonst das beobachtende Auge gewöhnlich etwas kurzsichtiger wird. Der ausschliessliche Gebrauch des einen Auges soll überdiess eine eigenthüm-

liche Reizbarkeit des andern zur Folge haben und bei anhaltender Arbeit Schmerzen in demselben verursachen. Diess ist jedenfalls insofern richtig, als das Auge, welches gewöhnlich unthätig ist, beim Sehen durchs Mikroskop einen weit helleren Lichteindruck erhält und, wenn man zur Abwechslung längere Zeit damit beobachtet, rascher ermüdet (was übrigens bei dem gesunden Auge des Anfängers auch der Fall ist). Was dagegen die Schmerzen betrifft, welche die anhaltende Arbeit verursacht, so lässt die Erfahrung es unentschieden, ob die abwechselnde Benutzung beider Augen nicht ebenso grosse Unannehmlichkeiten nach sich gezogen hätte. Jedenfalls gibt es viele Mikroskopiker, welche stets mit demselben Auge beobachten und diess bereits seit Jahren ohne Nachtheil gethan haben.

6. Der Arbeitstisch.

230 Eine nicht zu unterschätzende Annehmlichkeit ist die zweckmässige Einrichtung und bequeme Höhe des Arbeitstisches. Derselbe soll hinreichend gross und massiv und mit einer oder mehreren Schubladen ausgestattet sein, in welchen man die verschiedenen Nebenapparate, Zeichnenprismen, Glasgefässe etc. aufbewahrt. Für Zergliederungen empfiehlt sich eine in die Tischplatte eingelassene Schiefertafel, weil man die meisten Gegenstände auf schwarzem Grunde deutlicher sieht. Andere Einrichtungen, die vielleicht in diesem oder jenem Fall ganz zweckmässig sein mögen, im Allgemeinen aber entbehrlich sind, übergehen wir hier. Wer sich einen complicirteren Arbeitstisch mit all' den Beigaben, die etwa wünschenswerth erscheinen, machen lassen will, wird am besten thun, den Plan hiezu nach eigener Idee zu entwerfen.

II.

Herstellung und Behandlung der Präparate.

231 Es gibt im Ganzen nur wenige Gegenstände, welche ohne weitere Präparation auf dem Objectträger ausgebreitet oder durch Quetschen mit dem Deckglas isolirt werden können; die meisten bedürfen einer vorhergehenden Zergliederung in kleinere Theile oder müssen auf zarten Durchschnitten, deren Anfertigung eine gewisse Uebung voraussetzt, untersucht werden. Zweckmässiges Präpariren bleibt daher immer ein Hauptpunkt bei mikroskopischen Arbeiten: es ist

wichtig, ein gegebenes Object der Betrachtung so zugänglich als möglich zu machen und alle hiezu erforderlichen Proceduren kennen zu lernen, jedoch selbstverständlich vor Allem nothwendig, sich in der Handhabung der Präparirinstrumente praktisch zu üben. Die schriftliche Erörterung dieses Gegenstandes kann sich füglich auf eine kurze Angabe der Mittel und Wege beschränken, welche man zur Erreichung des gedachten Zieles zu wählen pflegt; alles Uebrige bleibt naturgemäss der praktischen Schule vorbehalten.

Das Zergliedern der Objecte, sowie das Freipräpariren bestimmter Theile, geschieht in der Regel mit Hülfe von Nadeln, und zwar in schwierigeren Fällen unter der Loupe oder dem einfachen Mikroskop.

Als Präparirnadel kann hiebei jede gewöhnliche Nähnadel dienen, wenn dieselbe mit einem hölzernen Stiel versehen ist, in welchem sie unbeweglich festsitzt. Wer indess auf eine bessere Ausstattung Werth legt, mag sich Nadeln von verschiedener Form und Grösse, darunter solche mit hakenförmig gebogener Spitze, und andere, die in ein kleines Messerchen auslaufen, anfertigen lassen und je nach dem Gegenstand, welcher zergliedert werden soll, diese oder jene gebrauchen. Nadeln, welche zu schwierigen Zergliederungen verwendet werden, müssen natürlich eine feine Spitze haben und sobald sich dieselbe abgestumpft hat, wieder geschliffen werden; solche dagegen, welche man bloss zum Drücken auf das Deckgläschen oder zum Verschieben desselben behufs Drehung der Objecte oder auch zu gröberen Zergliederungen benutzt, sind auch mit stumpfen Spitzen noch brauchbar und oft sogar zweckmässiger, sie sollen überhaupt etwas stärker sein und nicht federn. Das Heft wird namentlich bei feinen Nadeln am besten so eingerichtet, dass man dieselben nach Belieben wechseln und mittelst einer Metallkappe jedesmal fest einklemmen kann.

Eine geschickte Handhabung der Präparirnadeln ist bei manchen Objecten von grösster Wichtigkeit. Die Mühe, welche das Zerzupfen derselben verursacht, wird in solchen Fällen durch die Sicherheit der Beobachtung, die man dadurch erzielt, mehr als aufgewogen. Anfänger fehlen gewöhnlich darin, dass sie mit zu grossen Massen operiren und die Operation nicht lange genug fortsetzen.

Sind in einem Präparate zellige oder körnige Elemente zwischen fibröse, die man untersuchen will, eingebettet, so lassen sich erstere zuweilen durch Auspinseln — eine Methode, die bei thierischen

Präparaten häufig angewendet wird — entfernen. Der Gegenstand wird auf dem Objectträger, in einem geeigneten Medium liegend, so lange mit einem Malerpinsel in senkrechten Bewegungen betupft (Fig. 141), bis sich die Flüssigkeit trübt und das Gewebe sich aufhellt. Nöthigenfalls wird diese Procedur mehrere Male, verbunden mit Auswaschen und Wenden des Präparats und unter Zusatz neuer Flüssigkeit, wiederholt, bis endlich keine Trübung mehr stattfindet.

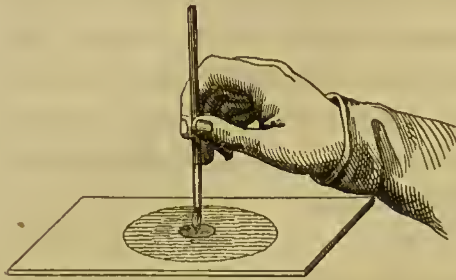


Fig. 141.

232 Zur Anfertigung von Durchschnitten bedient man sich am häufigsten guter Rasirmesser; andere Schneideinstrumente, wie Doppelmesser, Scalpelle u. dgl. sind für botanische Zwecke geradezu überflüssig, und so viel wir wissen, ist ihr Werth auch bei thierischen Substanzen nur ein sehr untergeordneter. Wer das Rasirmesser geschickt zu führen weiss, wird jedenfalls in der grossen Mehrzahl der Fälle damit ausreichen; nur ist es rathsam, je nach Umständen eine flach geschliffene oder eine hohl geschliffene Klinge zu benutzen. Handelt es sich z. B. um die Herstellung grösserer Durchschnitte durch verholzte Gebilde, so ist hiezu ein flach geschliffenes Messer, das auf dem Nagel nicht federt, erforderlich, während für weiche krautartige Gewebe sich im Gegentheil hohl geschliffene Rasirmesser mit elastisch biegsamer Schneide am besten eignen.

Vor dem Schneiden wird in der Regel sowohl die Klinge als das Object angefeuchtet, indem ein trocken geführter Schnitt gewöhnlich weniger gut ausfällt. Als Ausnahme sind indess ausgetrocknete gallertartige Substanzen, wie z. B. manche Flechtenthallome zu behandeln, weil sie im feuchten oder aufgequollenen Zustande nicht den nöthigen Widerstand bieten; hier ist höchstens eine Berührung mit der feuchten Lippe zulässig. Beim Schneiden selbst darf das Messer nicht etwa bloss wie ein Keil rechtwinklig zur Längsaxe durchgedrückt, es muss vielmehr hindurch gezogen werden, wenn die Schnittfläche möglichst glatt und rein ausfallen soll.

Sind die zu untersuchenden Gegenstände so dünn oder so klein, dass das Fassen mit der Hand und das richtige Ansetzen des Messers schwer fällt, so muss ihnen auf irgend eine passende Art der nöthige Halt gegeben werden. Handelt es sich um dünne fadenförmige oder

lamellenartige Gebilde (Blätter etc.), so genügt es zuweilen, wenn man sie zu mehreren aufeinander legt und zwischen die Finger presst. Meistens aber ist es rathsam, dieselben zwischen Kork oder Hollundermark einzuklemmen oder, wenn die Natur der Substanz diess gestattet, in Gummischleim eintrocknen zu lassen. Dünne Wurzeln, einzelne Blätter, Stammspitzen und ähnliche Objecte mit saftigem Gewebe schneidet man z. B. am besten zwischen Hollundermark, das im Allgemeinen vor dem Kork den Vorzug verdient; nur muss der Druck natürlich immer so regulirt werden, dass keine Quetschung stattfindet. Bei etwas dickeren Gegenständen ist desswegen das Aushöhlen einer entsprechenden kleinen Rinne im Marke empfehlenswerth. Längsschnitte durch zarte fadenförmige Objecte gelingen zuweilen am besten, wenn man dieselben um die Kante einer Korkplatte herumbiegt, das eine Ende fest andrückt und hierauf das andere, das man nöthigenfalls mit ganz wenig Gummischleim aufklebt, vorsichtig von der Kante aus durchschneidet. Auf diese Weise erhielten wir z. B. noch dünne Medianschnitte durch weiche Wurzelenden, nachdem zahlreiche Versuche zwischen Kork und Fliedermark fehlgeschlagen hatten. — Das Einlegen in Gummi ist nur bei solchen Objecten anwendbar, welche ohne Schaden eintrocknen und beim Aufquellen wieder ihre ursprüngliche Form annehmen, bei diesen aber jedem anderen Mittel vorzuziehen. Pollenkörner mit dicker Exine, Stärkekörner, die Aussenwandungen der Epidermiszellen, alle Flechtenthallome, manche Moos- und Algengewebe etc. kann man nach dieser Methode ohne alle Schwierigkeit in die dünnsten Lamellen zerlegen.

Für moderiges Holz und ähnliche Gewebe mit locker verbundenen Theilen soll unter Umständen auch die Injection mit geschmolzenem Stearin, das man später auf der Objectplatte mit Aether oder Benzin entfernt, zweckmässig sein. Schacht gibt an, er habe auf diese Weise noch zarte Durchschnitte durch stark vermodertes Holz aus Hünengräbern erhalten.

Objecte endlich, welche nur aus einer einzigen Zellreihe oder Zellschicht bestehen, wie z. B. Algenfäden und Moosblätter, werden gewöhnlich mit einem Tropfen Wasser auf den Daumennagel gebracht und durch eine schaukelnde Bewegung des Rasirmessers zerschnitten — ein Verfahren, welches bis zu einer gewissen Dicke der Gegenstände auch bei mehreren Zellenlagen noch Anwendung findet.

233 Um die auf der Messerklinge oder auf dem Daumennagel liegenden Schnitte in die Beobachtungsflüssigkeit auf der Objectplatte überzutragen, bedienen sich manche Beobachter eines feinen Malerpinsels, an dessen feuchter Spitze die einzelnen Objecte leicht haften bleiben, während sie in Wasser sich eben so leicht wieder ablösen. Man kann aber auch das Rasirmesser flach auf die Glasplatte auflegen, so dass die Schneide den Rand der Flüssigkeit berührt, und nun Schnitt für Schnitt mittelst der Nadel in dieselbe herüberschieben. Es kommt in diesen Dingen, wie in so manchen andern, viel auf Gewohnheit und Uebung an. Wir pflegen den Pinsel zum Uebertragen der Präparate nie zu gebrauchen.


Fig. 142.

Sind die zu untersuchenden Gegenstände in einer Flüssigkeit suspendirt, so bedient man sich häufig der Pipette (Fig. 142), um dieselben aufzufangen und auf die Objectplatte zu bringen. Verschliesst man nämlich das obere Ende der Glasröhre durch Auflegen des Zeigefingers, so kann man das untere, in eine feine Spitze ausgezogene Ende in eine Flüssigkeit eintauchen, ohne dass diese eindringt. Entfernt man sodann augenblicklich den Finger, so dringt etwas Flüssigkeit sammt den darin suspendirten Körperchen in die Röhre ein und kann nach abermaliger Verschliessung des oberen Endes herausgehoben werden. Die Pipette empfiehlt sich namentlich, wenn man aus verschiedenen über einander gelagerten Flüssigkeitsschichten einzelne Proben auffangen und gesondert untersuchen will.

234 Die in neuerer Zeit vielfach empfohlenen Mikrotome — Apparate, welche die Herstellung dünner Durchschnitte durch harte Gewebe erleichtern sollen — finden gewiss in manchen Fällen, namentlich wo eine grössere Ausdehnung und gleichmässige Dicke der Schnitte wünschenswerth ist, wie z. B. bei mikroskopischen Cabinetsstücken, ganz zweckmässige Verwendung. Für wissenschaftliche Untersuchungen scheint uns dagegen ihr Werth sehr untergeordnet, da es hier meistens bloss darauf ankommt, kleine Stücke eines Objectes gut zu durchschneiden oder wenigstens beim Durchmustern der Schnitte brauchbare Stellen zu finden. Wir bekennen uns überhaupt zu der Ansicht Mohl's, dass mechanische Vorrichtungen dieser Art, welche das künstlich potenzirte Auge durch künstlich potenzirte Hände unterstützen sollen, der Wissenschaft wenig Nutzen bringen, und dass einfache Werkzeuge in geübter Hand vollkommen ausreichen und meist bessere

Dienste leisten als complicirte. Auf eine Beschreibung der Mikrotome glauben wir daher um so eher verzichten zu dürfen, als die Verfertiger derselben gewöhnlich jedem abzugebenden Instrument eine Gebrauchsanweisung beilegen.

Die Scheere kommt nur bei thierischen Präparaten öfter in Gebrauch, bei pflanzlichen höchstens ausnahmsweise; jedenfalls reicht hier eine ganz gewöhnliche kleine Scheere vollkommen aus. Ebenso sind auch Meisel und Doppelmeisel, Säge, Hobel u. dgl., wenn sie auch in gewissen speciellen Fällen unentbehrlich sind, nicht eigentlich zu den Instrumenten des Mikroskopikers zu rechnen, so wenig als man Taschenmesser, Schraubstock, Zange, Locheisen u. dgl. als solche betrachten kann. Die Anwendung der gedachten Instrumente ist übrigens in den meisten Fällen selbstverständlich; man bedient sich der Säge bei versteinerten Hölzern, Knochen, Zähnen und ähnlichen Gegenständen, um dieselben zu durchschneiden oder in dünne Plättchen zu zerlegen, die man nachher eben schleift, — des Hobels bei hornartigen Gegenständen, um grössere Schnitte zu erhalten, — des Doppelmeisels, um aus harten Objecten von beträchtlicher Dicke dünne Lamellen herauszuschneiden u. s. w. Wer in den Fall kommt, das eine oder andere Instrument mit Vortheil zu gebrauchen, wird auch leicht ermessen, welche Form und Grösse ihm am besten convenirt und demgemäss — wenn überhaupt eine Auswahl geboten ist — seine Wahl treffen. Es scheint uns überflüssig, hierüber noch weitere Anweisungen folgen zu lassen. 235

Sind die angefertigten Durchschnitte in Folge ihres Luftgehaltes undurchsichtig, so muss die Luft auf irgend eine Weise entfernt werden. Manchmal genügt ein längeres Liegenlassen in der Beobachtungsflüssigkeit, insofern die letztere noch Luft zu absorbiren vermag; ein ganz sicheres Medium ist z. B. ausgekochtes Wasser, und nach Schacht auch Alcohol. In anderen Fällen führt ein schwaches Erwärmen des Präparates über der Weingeistlampe zum Ziel. Am wirksamsten und bequemsten ist indess immer die Anwendung der Luftpumpe, indem einige wenige Züge schon hinreichen, um die unter den Recipienten gebrachten Objecte vollständig luftfrei zu machen. Wer über eine grössere Luftpumpe, die immerhin zu den kostspieligen Apparaten zählt, nicht zu disponiren hat, kann sich eine kleinere von der Form einer Spritze leicht selbst anfertigen oder mit geringen Kosten anfertigen lassen. In eine unten zugeschmolzene 236

Röhre von c. 1 Zoll Durchmesser wird ein mit einem Ventil versehener Kolben eingepasst, der beim Hineinschieben die Luft entweichen, beim Herausziehen aber nicht eintreten lässt. Das zu untersuchende Object muss freilich bei dieser Einrichtung schon vor dem Präpariren in hinreichend kleinen Stücken und mit etwas Wasser in die Röhre gebracht und später wieder herausgefischt werden, was gerade nicht bequem ist; dessenungeachtet wird eine solche Handluftpumpe in Ermangelung einer besseren oft mit Vortheil angewandt.

Rührt die Undurchsichtigkeit von Inhaltspartieen oder Einlagerungen in die Membran her, so ist natürlich bloss durch Entfernung der betreffenden Substanzen mittelst chemischer Reagentien Abhülfe zu schaffen. Hierüber soll später das Nähere mitgetheilt werden.

237 Das Quetschen der Präparate auf dem Objectträger wird in der Regel durch einen schwachen Druck, den man mit der Nadel auf das Deckgläschen ausübt, bewerkstelligt. Dieses einfache Verfahren gewährt den doppelten Vortheil, den Druck nach Belieben und unter Umständen abwechselnd steigern und mässigen, und, wo es zweckdienlich erscheint, auch mit einem Zug nach dieser oder jener Seite hin verbinden zu können, was bei manchen Objecten sehr wichtig ist. Handelt es sich dagegen darum, einen gewissen Druck längere Zeit constant zu erhalten, sei es um eine grössere Fläche bequem zu durchmustern oder um das Object mit der Camera lucida zu zeichnen, so leistet allerdings eine mechanische Vorrichtung, welche den Druck mittelst Schrauben auszuüben gestattet, wesentliche Dienste. Solche Vorrichtungen, sogenannte Compressorien, werden gegenwärtig von den meisten Optikern geliefert; sie figuriren z. B. in den Preisverzeichnissen von Hartnack, Nachet, Bénèche, Zeiss, Belthle, Schröder, Schiek und Plössl und sind je nach Grösse und Einrichtung zu 15—25 Fr., die complicirteren sogar bis zu 40 Fr. angesetzt.

III.

Die Aufbewahrung der mikroskopischen Präparate.

238 Das Sammeln mikroskopischer Objecte, namentlich solcher, die man einer mühsamen Zergliederung oder einem glücklichen Zufalle verdankt, hat in neuerer Zeit durch die Verbesserung der Aufbe-

wahrungsmethoden eine Ausdehnung und Bedeutung erlangt, welche es gewissermaassen jedem Mikroskopiker zur Pflicht machen, die zur Herstellung solcher Präparate dienlichen Verfahren kennen zu lernen. Da es zunächst darauf ankommt, das zur Erhaltung der Objecte geeignete Medium zu wählen, so ordnen sich die in Gebrauch gekommenen Methoden am besten nach diesen. Wir heben folgende hervor:

1) Luft als Medium für trockene Substanzen, wie z. B. Schmetterlingsschuppen, Diatomeen, Krystalle und Durchschnitte durch verschiedene Hartgebilde. Man bedeckt diese Gegenstände, nachdem man sich überzeugt hat, dass sie in Luft ein befriedigendes Bild gewähren, mit einem dünnen Deckgläschen und befestigt das letztere in irgend einer Weise auf dem Objectträger, am besten mit dicker Gummisolution oder mit Canadabalsam. Das Ganze wird hierauf zweckmässig (wie auch bei Anwendung der folgenden Medien) mit einem Papier überzogen, welches über der Mitte des Deckgläschens einen Ausschnitt besitzt und an den Rändern des Objectträgers etwas übergreift.

2) Canadabalsam, für Hartgebilde aller Art: Diatomeen, fossile Hölzer, Knochen- und Zahnschliffe etc. Unter den harzähnlichen Stoffen, welche man als Medium für mikroskopische Objecte vorgeschlagen hat, ist keiner so wichtig und so allgemein in Gebrauch gekommen, als der canadische Balsam. Für vegetabilische Objecte findet er freilich nur eine beschränkte Verwendung, indem die meisten Zellmembranen darin zu durchsichtig erscheinen, um noch ein deutliches Bild zu gewähren; um so grösser ist dagegen seine Bedeutung für thierische Präparate. Das einzuschliessende Object wird durch Erwärmen oder auch über Schwefelsäure oder Chlorcalcium vollständig ausgetrocknet und hierauf mit Terpentinöl getränkt. Auf die Objectplatte wird alsdann ein Tropfen flüssigen Canadabalsams gebracht, das Präparat darin ausgebreitet und mit einem zweiten Tropfen bedeckt. Zur Entfernung der Luftblasen ist ein gelindes Erwärmen der Objectplatte (wobei natürlich kein Aufkochen stattfinden darf) zu empfehlen, und zwar wird dasselbe nöthigenfalls auch nach der Bedeckung mit dem Deckgläschen noch fortgesetzt, indem man das Präparat auf eine warme Unterlage (im Winter z. B. auf die Platte eines Thonofens) bringt, wodurch zugleich ein schnelleres Erhärten des Balsams erzielt wird.

Da der Balsamverschluss immer etwas klebrig bleibt, so ist es rathsam, die Ränder des Deckgläschens nach etwa 8 Tagen noch mit irgend einem Lack zu bestreichen, welcher rasch zu einer festen,

nicht klebrigen Masse eintrocknet. — Fester Canadabalsam wird vorher mit Terpentinöl oder auch mit etwas Chloroform verdünnt. Das Hartwerden an der Luft kann übrigens durch zweckmässige Aufbewahrung, am besten in weithalsigen Glasgefässen mit eingeschliffenen Stöpseln, ziemlich beschränkt werden. Ein allfälliger Ueberschuss des aufgetragenen Balsams, welcher an den Rändern des Deckgläschens hervorquillt, wird nach dem Erhärten abgekratzt und hierauf die Glasfläche mit einem von Terpentinöl benetzten Lappen vollständig gereinigt.

Statt des gewöhnlichen dickflüssigen Balsams wird unter Umständen ein mit Aether oder Chloroform stark verdünnter mit Vortheil angewandt. Man trägt denselben mittelst eines Pinsels kalt auf die Objectplatte auf, legt das Präparat ein, setzt noch etwas Flüssigkeit zu und bedeckt schliesslich.

3) Glycerin, für die meisten Pfanzengewebe. Dasselbe empfiehlt sich namentlich für solche Präparate, wo die Erhaltung der Stärkekörner und des Chlorophylls von Wichtigkeit ist. Um die Contraction des Primordialschlauches, soweit es überhaupt möglich ist, zu beschränken, bringt man die Objecte vorerst in eine mit destillirtem Wasser sehr verdünnte Lösung, die man entweder in der Luft verdunsten lässt oder nach und nach durch concentrirtere Lösungen ersetzt. Die Eigenschaft des Glycerins, bis zu einem gewissen Concentrationsgrade Wasser aus der Luft anzuziehen, macht einen hermetischen Verschluss überflüssig; nur wo dasselbe bleibend einen grösseren Wassergehalt besitzen soll, muss natürlich die Verdunstung durch sorgfältiges Auftragen der unten zu erwähnenden Lacksorten verhindert werden. Doch braucht man sich damit keineswegs zu beeilen; man darf ruhig mehrere Präparate zusammenkommen lassen, ehe man zum Einkitten schreitet.

Statt des reinen Glycerins wenden Andere ein Gemisch von Glycerin und arabischem Gummi oder Gelatine an, weil durch das Erstarren dieser Flüssigkeit späteren Ortsveränderungen der Objecte vorgebeugt wird. Man erhält diese Mischung, indem man beispielsweise 1 Theil Gelatine in 2 Theilen Wasser erwärmt und hierauf das gleiche Volumen oder auch etwas mehr Glycerin zusetzt.

Farrants empfiehlt eine noch complicirtere Mischung, welche aus gleichen Theilen Glycerin, arabischem Gummi und gesättigter wässeriger Lösung von arseniger Säure besteht und wie Canadabalsam gebraucht wird. Eine Verkittung ist hier nicht nöthig, da die äussern Schichten bald erhärten und eine weitere Verdunstung verhindern.

4) Chlorcalcium, für die meisten vegetabilischen Gewebe. Wird in ähnlicher Weise wie Glycerin angewendet und verlangt bei hinreichender Concentration ebensowenig, wie dieses, einen hermetischen Verschluss. Bei vorsichtiger Steigerung der Concentration bleiben die Wandungen der Zellen, selbst in jugendlichen Geweben, meist gut erhalten; die Farbstoffe werden dagegen mehr oder weniger verändert, die Stärkekörner quellen auf, der Primordialschlauch concentrirt sich. Dessenungeachtet ist die Chlorcalciumlösung in vielen Fällen dem Glycerin vorzuziehen. — Um die Bildung von basisch salzsaurem Kalk, welcher zuweilen auf dem Präparat auskrystallisirt, zu verhindern, säuert man die Lösung zweckmässig mit etwas Salzsäure an. Die Concentration der Chlorcalciumlösung richtet sich nach der Natur der Gewebe; verholzte Zellen ertragen eine vollständige Sättigung, während für jugendliche Gewebe eine verdünntere Lösung vorzuziehen ist.

5) Zuckerwasser, für Präparate, welche durch Glycerin oder Chlorcalcium zu sehr verändert werden. Der Zuckergehalt hindert die sonst immer eintretende Zersetzung und die damit verbundene Trübung der Flüssigkeit. Um auch jede Pilzbildung zu verhindern, kann man die Lösung mit etwas Sublimat versetzen. Dieselbe erfordert selbstverständlich immer einen hermetischen Verschluss.

Ausser den genannten Conservirungsflüssigkeiten wurden noch **239**
zahlreiche andere vorgeschlagen, die sich aber vorzugsweise für thierische Präparate eignen. Einige der gebräuchlichsten mögen hier noch Erwähnung finden.

Die von Pacini empfohlene Mischung — eine Modification der sogenannten Goadby'schen Flüssigkeit — besteht aus

Sublimat 1 Theil
Reines Chlornatrium 2 Theile
Glycerin (25° Beaumé) 13 Theile
Destillirtes Wasser 113 Theile.

Diese Mischung soll zwei Monate stehen gelassen und dann mit dem dreifachen Gewicht destillirten Wassers verdünnt und durch Fliesspapier filtrirt werden. Zur Erhaltung der Blutkörperchen, Nerven, Ganglien, Krebszellen, sowie überhaupt zarter proteinhaltiger Gewebe, soll dieselbe sich ganz vortrefflich eignen.

Aehnliche Gemische werden auch im pathologischen Institut in

Berlin in verschiedenen Nummern angewandt; sie haben nach Cornil (H. Frey, das Mikr. p. 146) folgende Zusammensetzung.

Nr. 1.		Nr. 2.		Nr. 3.		Nr. 4.	
Sublimat	1	Sublimat	1	Sublimat	1	Sublimat	1
Chlornatrium	2	Chlornatrium	2	Chlornatrium	1	Wasser	300
Wasser	100	Wasser	200	Wasser	300		

Nr. 5.		Nr. 6.		Nr. 7.		Nr. 8.	
Sublimat	1	Sublimat	1	Sublimat	1	Sublimat	1
Essigsäure	1	Essigsäure	3	Essigsäure	5	Phosphorsäure	1
Wasser	300	Wasser	300	Wasser	300	Wasser	30

Nr. 1 ist für gefässreiche Gewebe warmblütiger Thiere bestimmt, Nr. 2 für diejenigen der kaltblütigen Geschöpfe, Nr. 3 für Eiterkörperchen und verwandte Gebilde, Nr. 4 für Blutzellen, Nr. 5 für Epithelialzellen, Bindegewebe und Eiterzellen, wenn zugleich die Kerne hervortreten sollen, Nr. 6 für Bindegewebe, Muskeln und Nerven, Nr. 7 für Drüsen, endlich Nr. 8 für Knorpelgewebe.

Beale erwähnt eine Flüssigkeit, die nach folgender Vorschrift gemischt wird. Zu 6 Unzen Methylalcohol und 3 Drachmen Kreosot wird soviel Kreidepulver zugesetzt, dass das Gemenge eine weiche Paste bildet. Letztere wird hierauf unter sorgfältigem Reiben in einem Mörser mit 64 Unzen Wasser, das man allmählich zugiesst, verdünnt, dann mit ein paar kleinen Kampherstückchen versetzt und etwa 14 Tage stehen gelassen. Endlich wird filtrirt und die Flüssigkeit in einer gut schliessenden Flasche aufbewahrt. — Ein ähnliches Gemisch gebrauchte Thwaites zur Conservirung der Desmidiaceen.

240 Nach dieser Aufzählung der Conservirungsflüssigkeiten bleibt uns noch die Herstellung eines hermetischen Verschlusses, welcher für die meisten derselben nothwendig ist, zu besprechen übrig. Die Vorsichtsmaassregeln, die man hiebei zu beobachten hat, betreffen erstens die Unterlage, auf welche zur Vermeidung des Druckes das Deckgläschen zu liegen kommt, und zweitens das dauerhafte Einkitten der Ränder des Deckgläschens.

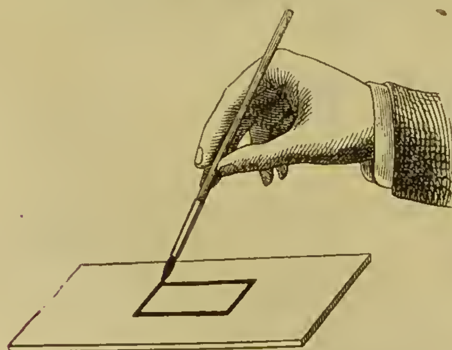


Fig. 143.

Sind die zu conservirenden Gegenstände nicht zu dick, so genügt es, mittelst eines Malerpinsels einen Rahmen von Kitt oder Lack auf dem Objectträger zu ziehen (Fig. 143),

und zwar von solcher Form und Grösse, dass sein äusserer Umriss beim Auflegen des Deckgläschens etwas vorsteht. Sobald der Lack ungefähr halbtrocken, bringt man das Präparat in den eingeschlossenen Raum und füllt denselben mit der gewählten Flüssigkeit. Hat man zuviel von der letzteren zugesetzt, so kann der Ueberschuss mittelst des Pinsels leicht entfernt werden. Das Deckplättchen wird zweckmässig zuerst auf der einen Seite schief aufgesetzt (Fig. 144) und dann allmählich in die horizontale Lage gebracht, so dass es mit seinen Rändern auf dem Lackrahmen haften bleibt. Tritt hiebei noch etwas Flüssigkeit hervor, so wird dieselbe vorsichtig mit Fliesspapier abgewischt, worauf endlich der Rand des Deckgläschens mit einem etwas dicken Lack derselben Art umzogen wird.

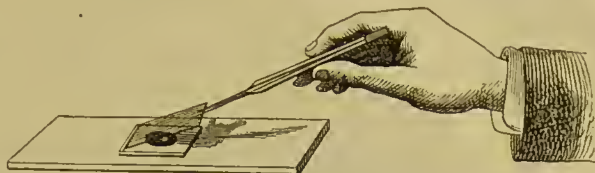


Fig. 144.

Statt eines geschlossenen Rahmens als Unterlage empfiehlt Schacht zwei parallele Lackstreifen, auf welche das Deckglas wie auf zwei Brückenpfeiler zu liegen kommt. Dadurch wird allerdings das Zurückbleiben von Luft neben dem Präparat leichter vermieden, die Herstellung eines hermetischen Verschlusses dagegen erschwert.

Sind die zur Aufbewahrung bestimmten Gegenstände so dick, dass Rahmen von Lack, auch wenn derselbe mehrere Male aufgetragen wird, nicht mehr ausreichen, so pflegt man solche — sogenannte Zellen oder Tröge — aus Guttapercha, Kautschuk oder Glas herzustellen und auf den Objectträger aufzukitten. Zu den Guttapercha- und Kautschukzellen verwendet man am einfachsten die käuflichen Platten, indem man viereckige Stücke, etwas schmäler als die Objectplatte, herausschneidet und mit einem Locheisen durchbohrt (Fig. 145). — Glaszellen von kreisförmiger Gestalt erhält man, indem man Ringe

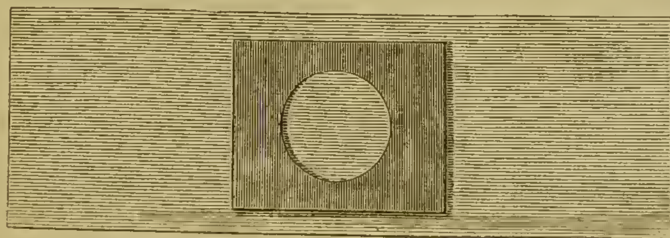


Fig. 145.

von entsprechender Dicke von Glasröhren absägt und die Schnittflächen eben schleift; sie verlangen natürlich auch kreisrunde Deck-

gläschen. Zweckmässiger sind indess viereckige Glasplatten mit kreisrunder oder ovaler Oeffnung, ähnlich den Guttaperchazellen, oder auch solche, welche aus linienbreiten Streifen von Spiegelglas zusammengesezt sind. Die letzteren kann man sich leicht selbst bereiten, indem man zweierlei Sorten von Streifen, eine von 18—20, eine andere von 12—15 m. m. Länge schneiden lässt und sie zu viereckigen Rahmen zusammenkittet. Man kann auch einen einzigen Glasstreifen über der Gebläseflamme rechtwinklig biegen und die Enden zusammenschmelzen, doch gehört dazu eine geübtere Hand.

241 Eine Hauptsache bei der ganzen Procedur ist der endgültige Verschluss. Da manche Kitte und Lacke mit der Zeit zahlreiche feine Risse erhalten, durch welche Luft eindringt, so hängt die Dauerhaftigkeit des Präparates wesentlich von der richtigen Wahl des Verschlussmittels ab. Schacht empfiehlt sowohl zum Aufkitten von Glaszellen als zur Einrahmung der Deckgläschen einen schwarzen Spirituslack, welcher in der Lackfabrik von Beseler in Berlin (Schützenstrasse Nr. 66) als Maskenlack Nr. 3 zu beziehen ist. Gewöhnlicher werden indess diese beiden Operationen mit zwei verschiedenen Kitten vorgenommen. Zur Befestigung der Glaszellen bedient man sich z. B. des sogenannten Seeleimes (marine glue), einer Masse, welche aus gleichen Theilen Schellack und Kautschuk, beide in Benzin gelöst, zusammengesetzt ist, oder auch der von Harting empfohlenen Lösung von Guttapercha und Schellack in Terpentinöl. Beide werden erwärmt, resp. geschmolzen, aufgetragen und hierauf die Zellen oder Glasstreifen unter Erwärmen angedrückt. Zum Einkitten der Deckgläschen wird dagegen meistens der käufliche Asphaltlack, eine Lösung von Asphalt in Leinöl und Terpentin, angewendet; doch hat sich derselbe durch die bisherigen Erfahrungen gerade nicht besonders bewährt, indem er oft schon nach Wochen oder Monaten Risse und Sprünge erhält. Viel besser ist nach Frey (das Mikr. p. 152) ein von Maler Ziegler in Frankfurt a. M. (Friedbergergasse 23) erfundener weisser Kitt, welcher durch gelindes Erwärmen mit Terpentinöl leicht beliebig verdünnt werden kann und wie der Asphaltlack mit dem Pinsel aufgetragen wird. Dieser Kitt soll zwar sehr langsam fest werden und oft noch nach Monaten eindrückbar sein, dafür aber einen vollständig sicheren Verschluss gewähren. Auch der sogenannte Goldgrund oder Goldleim (gold size), wie ihn die Vergolder zum Festkleben der Goldblättchen gebrauchen, wird für den ersten Verschluss als ganz vortrefflich empfoh-

len und Harting gibt an, er habe sich desselben lange Zeit ausschliesslich bedient. Frey empfiehlt dagegen noch eine letzte Verkittung mit dem oben erwähnten Ziegler'schen Kitt.

Endlich ist für die Etikettirung der Präparate und die ganze Einrichtung der Sammlung auch die Form und Grösse der Objectträger nicht ganz gleichgültig. In dieser Beziehung dürfte das bequeme und hübsche Format, welches Bourgogne in Paris für seine bekannten Präparate gewählt hat (Fig. 146), als Muster zu 242

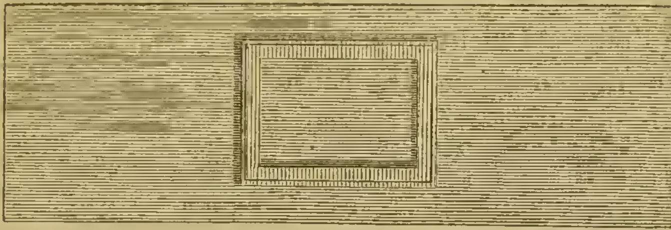


Fig 146.

empfehlen sein. Es ist dasselbe, welches auch in den englischen Sammlungen eingeführt ist: Objectträger von 27 m. m. Länge auf 24 m. m. Breite (3 Zoll engl. Maass zu 1 Zoll). Das vom Tauschverein in Giessen vorgeschlagene Format von 48 m. m. Länge auf 28 m. m. Breite ist unseres Erachtens unschön und weniger bequem.

Zur Bezeichnung des Präparates pflegt man gewöhnlich zwei Etiketten anzubringen, eine auf der linken Seite des Objectträgers mit dem Namen des aufbewahrten Gegenstandes, eine zweite auf der rechten mit der Nummer der Sammlung oder sonstigen Bemerkungen. Ist es von Wichtigkeit, eine bestimmte Stelle im Präparat leicht wieder zu finden, so soll überdiess noch Raum für die betreffenden Zeichen übrig bleiben. Man hat zwar in neuerer Zeit zur Erleichterung dieses Wiederfindens sogenannte Indicatoren construirt, doch bleibt das von Hoffmann vorgeschlagene Mittel: auf dem Objecttisch zu beiden Seiten der Oeffnung zwei Kreuze einzuschneiden und genau über denselben zwei gleiche Kreuze auf die Objectplatte zu zeichnen, nachdem das Object vorher in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht worden, immer das einfachste und zweckmässigste.

Will man mikroskopische Präparate auf einander schichten, um sie in einem möglichst kleinen Raume aufzubewahren, so ist es rathsam, zu beiden Seiten des Objectes schmale Glasstreifen, welche das Deckgläschen etwas überragen, quer über den Objectträger zu kitten. Manche pflegen diese Schutzleisten auch etwas breiter zu wählen

und dann zugleich als Deckglas für die Etikette zu verwenden. Den Vorzug verdient indess immerhin die Aufbewahrung der Präparate in Kästchen von Holz oder Pappe, deren Seitenwandungen mit Rinnen versehen sind, in welche die Objectträger einzeln eingeschoben werden. Um ein Sinken der Präparate zu vermeiden, werden solche Kästchen am besten so gestellt, dass die Glasplatten horizontal zu liegen kommen. Auch das Auflegen der Objectträger auf flache Schubladen oder Platten mit niederem Rande, die entweder wie bei einer Kommode vorziehbar sind oder der Reihe nach abgehoben werden können, hat Manches für sich; nur ist diese Einrichtung zum Versenden der Präparate nicht zu gebrauchen.

In den Einzelnheiten der Einrichtung wird sich Jeder, der eine Sammlung anlegen will, nach den Verhältnissen richten und namentlich Zweck und Umfang derselben, sodann Herstellungskosten, Transportabilität etc. von Anfang an im Auge behalten, im Uebrigen aber seinen eigenen Ideen folgen. Es scheint uns überflüssig, auf diese nebensächlichen Dinge weiter einzugehen.

IV.

Das Messen mikroskopischer Objecte.

243 Wie wichtig die Grössenbestimmung der Objecte für die mikroskopische Untersuchung ist, bedarf hier keiner Erörterung; auch ist es nicht unsere Aufgabe, die verschiedenen mikrometrischen Methoden, welche in älterer und neuerer Zeit in Vorschlag gekommen sind, hier ausführlich zu besprechen. Wir beschränken uns auf das Messen mit Hülfe des Glas- und Schraubenmikrometers und auf die Bestimmung von Winkelgrössen mittelst des Goniometers.

Das Glasmikrometer, wie es gegenwärtig fast ausschliesslich im Gebrauch ist, besteht aus einer im Oculareinsatz angebrachten oder zum Einschieben in denselben bestimmten Glasplatte, auf welcher mit dem Diamant eine hinreichend feine Theilung eingeritzt ist. Bei den meisten sind die grösseren Abschnitte, wie auf einem gewöhnlichen Maassstab, durch vorspringende Theilstriche bezeichnet (Fig. 147); die älteren Theilungen mit quadratischen Maschen finden wir auf den neuesten Preiscourants nicht mehr ver-


Fig. 147.

zeichnet. Die Ocularmikrometer der deutschen und französischen Optiker stimmen überdiess fast durchgehends darin überein, dass sie nach dem metrischen Maass und zwar so construirt sind, dass auf den Millimeter 10 Theilstriche kommen. Diess gilt z. B. von Bénèche, Zeiss, Belthle, Merz, Schröder, Schiek, Hartnack, Nachet u. A. Unseres Wissens liefert gegenwärtig nur Plössl noch Mikrometer, deren Theilstriche um Bruchtheile einer anderen Einheit, des Wienerzolls, von einander abstehen.

Es versteht sich übrigens von selbst, dass die Theilungen des Ocularmikrometers zunächst nur dazu dienen können, die Grösse des reellen Bildes zu messen. Auf die Objecte selbst bezogen, fällt ihr Werth natürlich um so kleiner aus, je stärker die Objectivvergrösserung, und muss daher für die einzelnen Systeme besonders bestimmt werden. Wird z. B. die Vergrösserungsziffer zweier Objective in Verbindung mit dem Collectiv beziehlich zu 20 und 50 angenommen, so entspricht die Länge von 0,1 m. m. im Oculareinsatz einem Objectdurchmesser von 5 Mik. und 2 Mik.

Um den relativen Werth der Mikrometertheilungen zu bestimmen, bedient man sich am einfachsten der Objectmikrometer, wie sie gegenwärtig von den meisten Optikern zu diesem Zwecke gefertigt werden. Es sind Glastäfelchen, auf welchen der Millimeter in 100 bis 250 Theile und darüber getheilt ist, so dass also der Abstand der Theilstriche beziehungsweise nur 10 bis 4 Mik. oder auch weniger beträgt. Bringt man nun ein solches Täfelchen unter das Mikroskop und stellt das Ocularmikrometer dergestalt auf das reelle Bild desselben ein, dass seine Theilung sich leicht mit der bekannten des Objects vergleichen lässt, so kann der fragliche Abstand der Theilstriche offenbar in derselben Weise bestimmt werden, wie diess bei einem gewöhnlichen unbekannten Maassstab geschieht, den man auf einen bekannten gelegt hat. Nehmen z. B. 10 Abstände im Ocularmikrometer auf der Objectplatte einen Raum von 25 Mik. ein, so kommt auf den einzelnen ein Werth von 2,5 Mik.

Die Fehler, welche diesem Bestimmungsverfahren und den 244
darauf gestützten Messungen anhaften, hängen natürlich von der Genauigkeit der beiden Mikrometertheilungen ab; sie können jedoch bei der Vollendung der neueren Theilmaschinen nicht erheblich sein. Beim Ocularmikrometer, wo ohnehin nur die Gleichheit der Intervalle, nicht ihre absolute Grösse, in Betracht kommt, sind dieselben geradezu als verschwindend zu betrachten, wie man sich leicht über-

zeugt, wenn man die Mikrometertheilung über das reelle Bild eines beliebigen Gegenstandes hingleiten lässt: das letztere deckt stets die nämliche Zahl von Theilstrichen. Dagegen kommen bei Objectmikrometern, wie Harting nachgewiesen hat, allerdings kleine Abweichungen in dem Sinne vor, dass die Intervalle dem vom Optiker bezeichneten Werth nicht genau entsprechen, sondern etwas zu gross oder zu klein ausgefallen sind. Bei Glasmikrometern von Oberhäuser soll die Differenz 0,041, bei solchen von Plössl 0,009 des angegebenen Werthes betragen, so dass die Resultate der Messung um die genannten Bruchtheile reducirt werden müssen, um richtig zu sein. Inwieweit diese Angaben bei Mikrometertheilungen neueren Datums noch Geltung haben, wollen wir dahingestellt sein lassen; wir erinnern uns jedoch, ein und dasselbe Object wiederholt nach Plössl'scher und Oberhäuser'scher Eintheilung gemessen zu haben, ohne auf nennenswerthe Differenzen zu stossen. Genauere Untersuchungen über diesen Gegenstand haben wir absichtlich nicht angestellt, da wir die Wichtigkeit derselben nicht einsehen; wir sind vielmehr der Ansicht, dass die bei bekannteren Firmen vorkommenden Abweichungen mit Rücksicht auf die Maassbestimmung mikroskopischer Objecte (ganz specielle Fälle abgerechnet) von keinem Belang sind.

Bei vielen Untersuchungen, wo Messungen nothwendig sind, handelt es sich übrigens nur um relative Genauigkeit, d. h. um die Vergleichbarkeit der Resultate des nämlichen Beobachters. Der Letztere muss allerdings wissen, welche Tragweite die möglichen Fehler haben könnten, und selbstverständlich Fehlerquellen zu vermeiden suchen, durch welche die Richtigkeit seiner Schlüsse zweifelhaft würde. Er erreicht aber dieses Ziel in der Regel schon durch einige wenige rasch ausgeführte Messungen, in schwierigeren Fällen durch eine grössere Zahl sorgfältiger Messungen und Berechnung des arithmetischen Mittels; die Prüfung des Messinstruments selbst wird nur äusserst selten geboten erscheinen. Die Fehler, welche von letzterem herrühren, sind fast immer verschwindend klein gegen diejenigen, welche der Beobachter durch unrichtige Einstellung verschuldet. In Fragen, wo solche Fehler der Einstellung irgendwie ins Gewicht fallen, wird kein Mikroskopiker die Messungen eines Anderen mit seinen eigenen vergleichen wollen; er wird sogar von diesen meist nur Ziffern der nämlichen Beobachtungsreihe in Rechnung bringen. Man darf getrost behaupten, dass wenn Messungen verschiedener Beobachter bei irgend einer Untersuchung vergleichbar sind, diese Vergleich-

barkeit noch fortbesteht, wenn die einzelnen Maasse um 5—10 Procent grösser oder kleiner gewählt werden.

Wenn manche Beobachter die Genauigkeit der directen Messung durch mehrmalige Wiederholung bis auf 0,1 Mik. gesteigert haben wollen, so sind solche Angaben für rein illusorisch zu halten, weil die Art der Einstellung innerhalb viel weiter gezogener Grenzen von der subjectiven Anschauung abhängt. Man lasse zwei geübte Beobachter an einem und demselben Object und mit demselben Mikroskop wiederholte Messungen ausführen. Das Object sei scharf begrenzt und die Messungen nach der üblichen Berechnungsweise bis auf 0,1 Mik. genau. Wenn alsdann nicht ein reiner Zufall im Spiele ist, so wird die Vergleichung der gefundenen Mittelwerthe Differenzen ergeben, welche bei Objecten von 10 Mik. Durchmesser und darüber das 5—10fache des vermeintlichen Fehlers betragen. Wozu also diese doch nur scheinbare Genauigkeit?

Die Fassung und Einrichtung der Ocularmikrometer gestattet 245
natürlich mancherlei Modificationen. Bei kleineren Instrumenten sind sie meist unbeweglich im Niveau der Blendung angebracht, womit jedoch der Nachtheil verbunden ist, dass sie von Augen mit verschiedener Schweite nicht gleich deutlich gesehen werden, und dass die Einstellung eines Theilstriches auf einen bestimmten Punkt nur durch Verschiebung des Objectes bewerkstelligt werden kann. In dieser Hinsicht sind die zum Einschieben in den Ocularensatz eingerichteten Mikrometer schon etwas bequemer; sie gewähren überdiess den nicht unerheblichen Vortheil, das nämliche Ocular zu Messungen und zu Beobachtungen verwenden zu können, ohne bei letzteren die störenden Theilstriche immer im Gesichtsfelde zu haben. Von complicirteren Einrichtungen, die natürlich auch im Preise beträchtlich höher stehen, sei hier noch Bénèche's »Ocular mit verstellbarem Mikrometer« erwähnt, bei welchem das letztere mittelst einer Schraube seitlich verschiebbar ist, um die Einstellung zu erleichtern, und zugleich die Ocularlinse in einer Hülse auf und ab bewegt werden kann. Die Verschiebbarkeit des Oculars in senkrechter Richtung, erweist sich übrigens für die meisten Beobachter als ziemlich überflüssig, da die Theilstriche auch bei verschiedener Sehweite der Augen deutlich wahrnehmbar sind.

Die Maassbestimmung mikroskopischer Objecte, welche die 246
Intervalle der Mikrometertheilung nur theilweise ausfüllen, kann

natürlich nur durch approximative Schätzung geschehen. Sind die Objecte fadenförmig, so geht man am sichersten, wenn man dieselben sich rechtwinklig mit den Theilstrichen kreuzen lässt. Das Verhältniss der Intervalle zur Fadendicke kann alsdann bis auf einen kleinen Fehler leicht bestimmt werden. Bei kugelförmigen Gegenständen empfiehlt sich, wo immer möglich, das Aneinanderreihen derselben und die Längenbestimmung der Reihe, mit deren Gliederzahl man alsdann das erhaltene Resultat dividirt. Nach demselben Princip berechnet man auch die mittlere Dicke der Schichten in Membranen, Stärkekörnern etc. und wo es angeht auch die durchschnittliche Grösse der Elementarorgane in Geweben.

247 Das Schraubenmikrometer wurde in neuerer Zeit durch die bequemen und viel wohlfeileren Glasmikrometer fast gänzlich verdrängt. Wir finden dasselbe in den Preiscourants der letzten Jahre nur noch bei Schiek und Schröder (in Hamburg) aufgeführt, und es ist kaum anzunehmen, dass die genannten Firmen sich eines bedeutenden Absatzes erfreuen. — Die Einrichtung des Instruments beruht auf dem in der Technik (bei Linirmaschinen, Theilmaschinen etc.) vielfach angewendeten Princip, dass die Bewegung einer Schraube dem Winkel proportional ist, um welchen ein beliebiger Punkt derselben gedreht wird. Ein nach Art eines Schlittens verschiebbarer Theil des Objecttisches, auf welchem das Object liegt, wird mittelst einer Mikrometerschraube mit sehr feinen Windungen (wovon z. B. 5 auf 1 Millimeter gehen) hin oder her bewegt, bis die opponirten Randpunkte des Bildes nach einander mit einem im Ocular ausgespannten Faden zusammenfallen. Der von einem Punkt bis zum andern durchlaufene Weg kann alsdann an dem mit einer Gradeintheilung versehenen Schraubenkopf abgelesen werden, da der Werth eines Grades sich aus dem bekannten einer ganzen Umdrehung leicht berechnen lässt und folglich als gegeben zu betrachten ist.

Eine andere in England gebräuchliche Form des Schraubenmikrometers ist das Ocularschraubenmikrometer. Bei diesem sind zwei parallele Fäden im Gesichtsfelde des Oculars ausgespannt, von denen der eine durch die Mikrometerschraube gegen den andern feststehenden bewegt werden kann. Bringt man nun die Ränder des Objectivbildes mit diesen Fäden zur Deckung, so kann offenbar der Durchmesser desselben viel genauer bestimmt werden, als es mit Hülfe einer Mikrometertheilung auf Glas möglich ist. Uebrigens ist die Messung auch hier nur eine indirecte; der relative Werth der

Schraubenwindungen muss für jedes Objectiv und jede Tubuslänge, ganz wie beim Glasmikrometer, besonders bestimmt werden.

Auf dem Ramsden'schen Princip, das Objectivbild statt des Objectes zu messen, beruht auch das neuerdings von H. v. Mohl vorgeschlagene Schraubenmikrometer (s. Schultze's Archiv für mikr. Anat. Bd. I. 1865). Mohl findet die gewöhnliche Art, wie dieses Princip in Anwendung kommt, entschieden fehlerhaft, weil das Bild des Objects durch das Ocular eine grössere oder geringere Verzerrung erleide, in Folge deren die Vergrösserung, je nach der Entfernung vom Centrum, etwas stärker oder schwächer ausfalle, wodurch natürlich, wie schon Harting gezeigt habe, der relative Werth der Mikrometertheilungen eine Aenderung erfahre. Um diesem störenden Einfluss der Ocularlinse zu entgehen, misst Mohl die Grösse des Objectivbildes nicht unter dem feststehenden Ocular durch Bewegung des Spinnenfadens, sondern führt das Ocular mit dem Fadenkreuz mittelst der Mikrometerschraube quer über das Bild weg, so dass bei der jedesmaligen Einstellung nur das Centrum desselben optisch wirksam ist. 248

Wir sind der Ansicht, dass der angeblich störende Einfluss der Ocularlinse, welcher durch das vorgeschlagene Verfahren beseitigt werden soll, in Wirklichkeit nicht vorhanden ist. Denn es ist völlig gleichgültig, ob die Ocularlinse gleichmässig oder ungleichmässig vergrössere, wofern nur das Bild, das sie entwirft, die zur genauen Einstellung nöthige Schärfe besitzt. Die Ebene des Objectivbildes fällt ja mit der Ebene der Mikrometertheilung zusammen, und der Raum zwischen den beiden Rändern, den die Mikrometerschraube zu durchlaufen hat, ist eine Grösse, welche von der Verzerrung des Bildes durch die Ocularlinse ganz und gar unabhängig ist, da Bild und Maass durch das Ocular die gleichen Veränderungen erfahren. Sind die Ränder des Objectivbildes scharf und bestimmt gezeichnet, so dass die Fäden im Ocular genau darauf eingestellt werden können, so mag die Ocularlinse am Rande doppelt so stark vergrössern als in der Mitte, das Resultat der Messung bleibt hiervon unberührt. Die Harting'schen Grössenbestimmungen, wonach 10 Abtheilungen eines Glasmikrometers, nach einander einzeln und im Centrum des Gesichtsfeldes gemessen, im Durchschnitt je 75,8 Graden des Index entsprachen, während die Gesammtausdehnung der 10 Abtheilungen, direct gemessen, nur 73,5 Grade (statt 75,8) ausmachte, beweisen nur, dass das gemessene Objectivbild selbst ungleichmässig und zwar

gegen den Rand zu schwächer vergrössert war. *) Es ist diess ein Uebelstand, dem man in höherem oder geringerem Grade wohl bei allen Mikroskopen begegnet und dessen schädlichen Einfluss man in den Fällen, wo es auf möglichste Genauigkeit ankommt, nur dadurch beseitigen kann, dass man den relativen Werth der Theilstriche oder der Schraubenwindungen des Mikrometers mit Hülfe eines Objectes bestimmt, welches mitten im Gesichtsfelde denselben Raum einnimmt wie das zu messende. Handelt es sich z. B. um die genaue Grössenbestimmung eines Objectes, dessen Collectivbild 5 Theilstriche im Ocularmikrometer bedeckt, so wählt man zur Bestimmung der Mikrometertheilungen oder Schraubenwindungen einen Abstand auf dem Objectmikrometer, welcher der nämlichen Zahl von Theilstrichen im Ocular entspricht. Daraus folgt denn auch, dass das zu messende Object immer in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht werden muss.

Das Mohl'sche Ocularschraubenmikrometer kann hienach keine andern Vortheile gewähren als diejenigen, welche allfällig mit der grösseren Schärfe des Bildes in der Mitte des Gesichtsfeldes verbunden sind, und es ist nicht anzunehmen, dass diese Vortheile bei Objecten von höchstens 20—30 Mik. im Durchmesser, für welche das Instrument bestimmt ist, nachweisbar seien.

249 Dass mit gut gearbeiteten Schraubenmikrometern sehr genaue Messungen ausgeführt werden können, bedarf keiner Erörterung. Nach Harting soll bei einem Plössl'schen Instrument der wahrscheinliche Fehler einer einzelnen Messung nur c. $^1/_3$ Mik. und im Mittel aus einer Anzahl Messungen nur c. $^1/_{10}$ bis $^1/_{13}$ Mik. betragen. Dabei ist jedoch selbstverständlich vorausgesetzt, dass der Beobachter richtig einstelle. Wer Interferenzlinien für die Umrisse des Objects ansieht oder durch optische Effecte anderer Art sich irre machen lässt, der wird auch mit dem genauesten Instrument höchst fehlerhafte Resultate erhalten, namentlich wenn der zu messende Gegenstand sehr klein ist. Das richtige Sehen bleibt demnach, wie bereits hervorgehoben, immer die Hauptsache.

250 Sollen wir schliesslich noch ein Wort über die Bezeichnungsweise der mikrometrischen Grössen hinzufügen, so geht unsere An-

---

*) Wie Harting dazu kommt, diese Differenzen aus der stärkeren Vergrösserung der Randpartieen zu erklären, ist uns unverständlich. — Ueber die Ursachen der gegen den Rand zu schwächern Vergrösserung vgl. man pag. 52 u. ff.

sicht dahin, dass der Harting'sche Vorschlag, den Mikromillimeter (= 0,001 m. m.) als Einheit zu gebrauchen, allgemeine Beachtung verdiene. Es scheint uns jedenfalls am zweckmässigsten, irgend eine Einheit, welche kleiner ist, als die meisten der zu messenden Objecte, ein für allemal festzusetzen, weil wir ja auch sonst sowohl Zeit als Raum mit solchen Einheiten zu messen pflegen. Da nun das französische Maass in der Wissenschaft unzweifelhaft das bekannteste ist und der Mikromillimeter überdiess auch für die kleinsten noch messbaren Objecte einen bequemen Maasstab bildet, so wüssten wir nicht, was sich gegen die Harting'sche Bezeichnungsweise einwenden liesse. Grössere Dimensionen werden natürlich immer in Millimetern, noch grössere in Metern ausgedrückt, so dass die maassbestimmende Zahl nie mehr als drei Ziffern erhält. Zieht man es vor, die gefundenen Werthe immer in Millimetern zu veröffentlichen, so eignet sich hiezu am besten ein Decimalbruch, wie z. B. 0,0048 m. m. (= 4,8 Mik.), da alsdann Jedermann weiss, dass in der dritten Decimale die Einheiten der Mikromillimeter zu suchen sind. Gewöhnliche Brüche, wie $\frac{1}{652}$ oder $\frac{1}{289}$ m. m. geben unseres Erachtens eine ebenso unklare Vorstellung von der wirklichen Grösse eines Objectes, als die Ausdrücke $\frac{1}{652}$ oder $\frac{1}{289}$ Jahr von der entsprechenden Zeit. Dazu kommt, dass dieselben für die Rechnung unstreitig weniger bequem sind, als ganze Zahlen oder Decimalbrüche. Vollends verwerflich aber sind die gewöhnlichen Brüche mit beliebigem Zähler, wie $\frac{7}{193}$, $\frac{3}{239}$ etc., da ja doch erst das Verhältniss des Zählers zum Nenner durch Division bestimmt werden muss, bevor man sich annähernd eine Vorstellung von der gemessenen Grösse machen kann.

Zur Vergleichung der verschiedenen Maasseinheiten, die man 251
bei Grössenangaben mikroskopischer Objecte neben dem Millimeter und Mikromillimeter noch anzuwenden pflegt, dient nachstehende kleine Reductionstabelle.

Die Pariser Linie ist	=	2,2558	Millimeter.
Der Pariser Zoll ist	=	27,0700	» »
Die Englische Duodecimal-Linie ist	=	2,1166	» »
Der Englische Zoll ist	=	25,3997	» »
Die Rheinische Linie ist	=	2,1802	» »
Der Rheinische Zoll ist	=	26,1622	» »
Die Wiener Linie ist	=	2,1952	» »
Der Wiener Zoll ist	=	26,3419	» »

Das umgekehrte Verhältniss stellt sich hienach folgendermaassen heraus:

Ein Millimeter	=	0,4433	Pariser Linie.
	=	0,0369	» Zoll.
	=	0,4724	Englische Linie.
	=	0,0394	» Zoll.
	=	0,4587	Rheinische Linie.
	=	0,0384	» Zoll.
	=	0,4555	Wiener Linie.
	=	0,0379	» Zoll.

252 Was nun noch die Bestimmung von Winkelgrössen betrifft, so geschieht dieselbe am besten mit Hülfe des Goniometers. Dasselbe besteht aus einer mit dem Ocular verbundenen, in Grade getheilten Kreisplatte, auf welcher ein Nonius angebracht ist, mit dem gleichzeitig ein im Ocular ausgespanntes Fadenkreuz um seinen Kreuzungspunkt gedreht wird. In diesen letzteren kommt beim Gebrauch die Spitze des zu messenden Winkels zu liegen, während der eine der beiden Fäden nacheinander mit den Schenkeln desselben zur Deckung gebracht wird. Die hiebei erforderliche Drehung wird am Nonius abgelesen. — Andere Optiker bringen die Gradeintheilung am runden drehbaren Objecttisch an, so dass beim Messen das Fadenkreuz im Ocular unbeweglich bleibt, während der Tisch mit dem Objecte gedreht wird. Mit dieser Einrichtung ist jedoch der Nachtheil verbunden, dass das Object wegen mangelhafter Centrirung des Tisches beim Drehen desselben seinen Ort im Gesichtsfelde verändert und daher immer wieder eingestellt werden muss, was mit hinreichender Genauigkeit nur mittelst Schrauben, die auf den nach zwei Richtungen verschiebbaren Tisch wirken, geschehen kann. Aus diesem Grunde verdient das Oculargoniometer entschieden den Vorzug.

In Ermangelung eines Goniometers mag das Zeichnen des Winkels mit der Camera lucida als Nothbehelf dienen. Man verlängert die beiden Schenkel mit Hülfe des Lineals und misst hierauf den Winkel mit einem gewöhnlichen Transporteur.

Wie man übrigens auch verfahren mag, es bleibt immer eine Fehlerquelle zu berücksichtigen übrig, welche von der Genauigkeit des Messinstrumentes unabhängig ist. Wenn wir auch von den mancherlei Unregelmässigkeiten, welche die Schärfe der Linien beeinträchtigen und den Parallelismus parallel sein sollender Kanten stören, ganz und gar absehen; wenn wir voraussetzen, die Einstellung auf

die beiden Schenkel des zu messenden Winkels sei mit aller nur wünschbaren Schärfe möglich, so lässt sich trotz alledem nicht entscheiden, ob die Ebene des Winkels genau mit derjenigen des Gesichtsfeldes zusammenfalle oder etwas gegen dasselbe geneigt sei. Nun ist einleuchtend, dass eine Hebung oder Senkung des Scheitels den Winkel zu gross, eine Drehung um den einen Schenkel dagegen zu klein erscheinen lässt; dass folglich die Ergebnisse der Messung je nach der Lage beträchtlich differiren oder auch bei ungleichen Winkeln gleich ausfallen können. Man kann diesen Uebelstand bei krystallographischen Untersuchungen nie ganz beseitigen, man kann ihm nur einigermaassen steuern, indem man die Messungen an gleichwerthigen Flächen öfter wiederholt. In manchen Fällen ist es auch möglich, die Neigungen dergestalt zu controliren, dass man ganz bestimmt weiss, ob das erhaltene Maass eines Winkels, insofern es überhaupt ungenau ist, nach + oder — von der wirklichen Grösse abweicht. Handelt es sich z. B. um Tafeln, welche als verkürzte klinorhombische Säulen zu betrachten sind (Fig. 148), so ist die gleiche Breite der in der Figur schraffirten Säulenflächen ein Beweis, dass die Endfläche weder nach rechts, noch nach links geneigt ist. In dieser Lage können folglich die Winkel *a* und *b* jedenfalls nicht kleiner erscheinen, als sie wirklich sind, da eine allfällige Neigung in der Richtung von *a* nach *b* dieselben vergrössern müsste. Aehnliche Anhaltspunkte bieten auch manche andere Krystallformen, und es ist die Aufgabe des Beobachters, sie in jedem gegebenen Falle, wo immer möglich, aufzufinden und zu berücksichtigen. Was nützen Goniometer, welche den Drehungsbogen bis auf 1 Minute genau abzulesen gestatten, wenn die vom Objecte herrührenden Fehler 1—2 Grade betragen? Und man glaube nicht, dass solche Fehler bei kleinen Octaedern, Rhomboedern etc. so ganz leicht zu vermeiden seien. Es gehört, wie uns vielfache Erfahrung gezeigt hat, alle Sorgfalt eines geübten Beobachters dazu, um eine Winkelbestimmung an Krystallen, wie sie gewöhnlich in Pflanzenzellen vorkommen oder nach Zusatz von Reagentien in der Beobachtungsflüssigkeit entstehen, mit Sicherheit bis auf ⅓ Grad genau auszuführen. Das Goniometer darf unter solchen Verhältnissen geradezu als vollkommen betrachtet werden.



Fig. 148.

V.

Das Zeichnen mikroskopischer Objecte.

253 Wer sich einlässlicher mit mikroskopischen Untersuchungen beschäftigt, soll im Stande sein, das Wahrgenommene in Abbildungen wiederzugeben, welche wenigstens in allen wesentlichen Punkten mit dem erhaltenen Eindruck übereinstimmen. Wir sagen: mit dem erhaltenen Eindruck, nicht mit dem Object selbst; denn eine weiter gehende Naturwahrheit, als eben diese relative, ist nicht denkbar. Man kann billiger Weise nicht verlangen, dass die Hand des Zeichners richtig darstelle, was das Auge des Beobachters unrichtig gesehen hat. Die Anforderungen, die man gewöhnlich an den Zeichner zu stellen pflegt: richtige Auffassung, Verständniss des Gegenstandes, Naturwahrheit ohne Subjectivität etc. müssen demnach streng genommen auf den Beobachter bezogen werden; der Zeichner hat bloss die Aufgabe, die Vorstellung, welche der Beobachter sich angeeignet hat, sie mag nun richtig oder unrichtig sein, in Anderen wieder zu erwecken. Absolute Naturwahrheit bleibt übrigens für den Mikroskopiker ein Ideal, nach dem er zwar streben soll, das er aber immer nur annähernd erreicht. Seine Zeichnungen sind im günstigsten Falle doch stets nur mit Rücksicht auf diejenigen Punkte naturgetreu, zu deren Versinnlichung sie angefertigt wurden. Mehr wird der Autor selbst, wenn er dieselben nach Jahren wieder zu Rathe zieht, nicht darin suchen.

254 Da die genaue Wiedergabe der Umrisse bei complicirteren Zeichnungen auch für den Geübten eine schwierige Sache ist, so bedient man sich verschiedener Hülfsapparate, welche das mikroskopische Bild auf die Papierfläche zu projiciren gestatten. Die bekanntesten derselben lassen sich in folgende Kategorien bringen.

1) Apparate, welche die aus dem Ocular hervortretenden Lichtbündel durch Reflexion so ablenken, dass das Bild auf eine senkrechte oder mehr oder weniger geneigte Fläche projicirt wird. Die (letzte) reflectirende Fläche ist hiebei mit einer kleinen Oeffnung versehen oder von sehr geringer Ausdehnung, so dass das Auge in beiden Fällen durch einen Theil der Pupille noch die Bleistiftspitze sieht, mit der man die Umrisse des Bildes umzieht. Die Bleistiftspitze wird also direct, das mikroskopische Bild dagegen durch Spiegelung

gesehen. Da nun nach Früherem mit einmaliger Spiegelung eine halbe Umkehrung des Bildes verbunden ist, so verdienen diejenigen Apparate den Vorzug, bei denen eine zweimalige Reflexion in der nämlichen Ebene — bei Prismen eine zweimalige innere Totalreflexion — stattfindet.

Hieher gehören der Sömmerring'sche Spiegel, das Zeichnenprisma nach Nachet und das gleichseitige Prisma — beide mit einmaliger Reflexion, ferner die Camera lucida nach Wollaston, Milne Edwards, Amici und Oberhäuser — alle mit zweimaliger Reflexion. Die letztgenannte ist mit einem rechtwinklig gebrochenen Rohre A (Fig. 149)

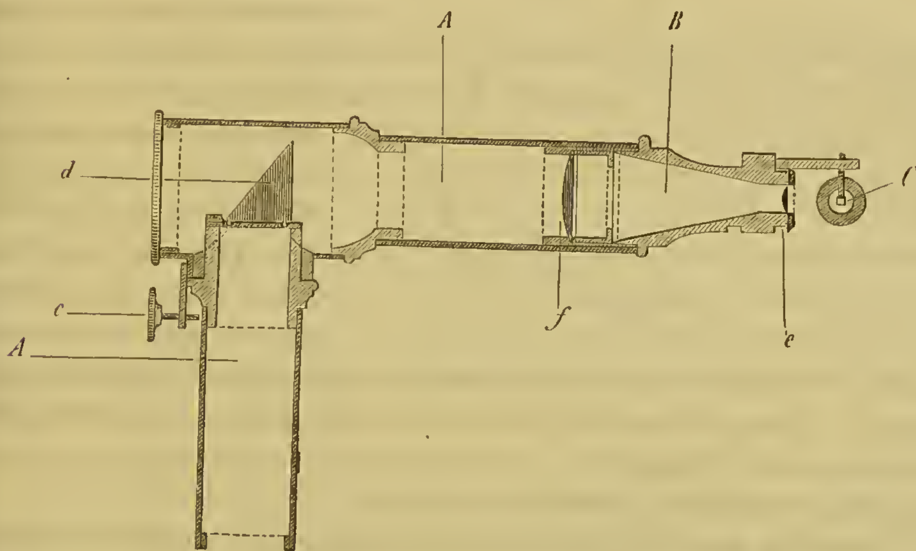


Fig. 149.

ausgestattet und gewährt dadurch den Vortheil, dass das als Projectionsebene dienende Zeichnungspapier unmittelbar auf den Arbeitstisch gelegt werden kann, ein besonderes Gestell also nicht nöthig ist. Beim Gebrauche wird der senkrechte Arm des Apparats nach Wegnahme des Oculars in die Mikroskopröhre eingeschoben und das Prisma C durch Drehung der Röhre B so gestellt, dass seine Reflexionsebene mit derjenigen von d zusammenfällt. — Bei den übrigen Apparaten muss die Projectionsebene eine solche Lage haben, dass die in der Richtung der Mikroskopaxe ausfahrenden Strahlen dieselbe nach der (letzten) Reflexion, rückwärts verlängert, senkrecht treffen. In Folge dessen wird es nothwendig, sich beim Zeichnen eines Gestelles zu bedienen, welches diese Bedingung zu erfüllen gestattet. Wird sie nicht erfüllt, so erscheint das projicirte Bild verzerrt.

2) Apparate, welche die von der Bleistiftspitze ausgehenden Lichtstrahlen durch zweimalige Reflexion so ablenken, dass dieselben von Punkten des Gesichtsfeldes zu kommen scheinen. Das mikroskopische Bild wird hier durch eine Oeffnung der letzten reflectirenden Fläche oder neben derselben vorbei direct, die Bleistiftspitze dagegen indirect durch Spiegelung gesehen. Die Anwendung dieses Princips gestattet natürlich ähnliche Modificationen, wie die des vorhergehenden. Uns sind indessen von Vorrichtungen dieser Art nur das Hagenow'sche Dikatopter (Fig. 150) und der Zeichnenapparat nach Gerling bekannt: Ersteres ist nach Art der Oberhäuser'schen Camera lucida mit einem horizontalen Rohre versehen, so dass das mikroskopische Bild eine halbe Umkehrung erfährt. — Beim Gebrauche gilt auch hier die Regel, dass die Projectionsebene im Spiegelbilde mit dem Gesichtsfelde zusammenfallen oder doch wenigstens parallel sein muss.

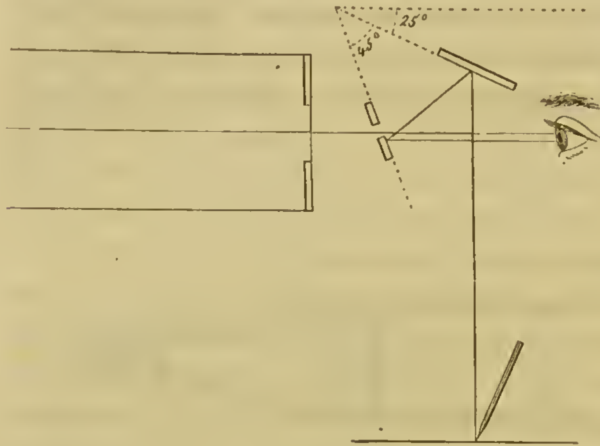


Fig. 150.

Welche von den genannten Vorrichtungen hinsichtlich der bequemen Handhabung den Vorzug verdiene, mag dahingestellt bleiben, da man hierüber je nach Gewohnheit und Uebung verschiedener Ansicht sein kann. Soviel wird indess Jedermann einleuchten, dass eine halbe Umkehrung, wie sie eine einmalige Reflexion veranlasst (wobei z. B. eine rechtsgewundene Spirale in eine linksgewundene verwandelt wird), als wesentlicher Uebelstand zu betrachten ist, der nicht bloss die Ausführung der Zeichnung erschwert, sondern unter Umständen auch mancherlei Täuschungen zur Folge haben kann. Das mit dem Apparat in diesem Fall erhaltene Spiegelbild muss daher noch einmal umgekehrt werden, was am besten dadurch geschieht, dass man es am Fenster auf die Rückseite des Papiers durchzeichnet.

Die von Harting empfohlene Methode, das reelle Bild des Objectivs in einem Abstand von c. 400—500 m. m. aufzufangen und nachzuzeichnen, was natürlich nur mit durchsichtigem Papier ge-

schehen kann, desgleichen das Verfahren von Stilling*), das ohnehin für stärkere Vergrösserungen nicht anwendbar wäre, dürften beide ihrer Umständlichkeit wegen kaum viele Nachahmer finden.

Da die Vergrösserung des projicirten Bildes von der Entfernung 255
der Projectionsebene abhängt, so ist es nothwendig, dieselbe für den gewohnten Abstand oder auch für verschiedene Abstände direct zu bestimmen (vgl. pag. 171). Diess geschieht zweckmässig ein für allemal für die verschiedenen Objective; die Vergrösserungsziffern werden tabellarisch zusammengestellt und nebst der Tabelle über die relativen Werthe der Mikrometertheilungen im Mikroskopkasten oder in der Mappe aufbewahrt.

Die Stärke der gewählten Vergrösserung sollte bei jeder Figur angegeben werden. Am einfachsten geschieht diess durch Beisetzen der Vergrösserungsziffer: (60), (350) etc., oder auch in Form eines Bruches: $\frac{60}{1}$, $\frac{350}{1}$ etc. Das Hinzufügen eines Nenners ist übrigens ganz und gar überflüssig, da es zum Begriff der Vergrösserungszahl gehört, dass der Durchmesser des Objects als Einheit angenommen wird. Nur wenn das Bild kleiner ist, als das Object, nimmt die Vergrösserungszahl (die alsdann zur Verkleinerungszahl wird) nothwendig die Form eines Bruches an.

Die mittelst der Camera lucida erhaltene Zeichnung muss sorg- 256
fältig mit dem mikroskopischen Bilde verglichen und nöthigenfalls corrigirt werden, bevor man an die weitere Ausführung geht. Es kann nämlich leicht vorkommen, dass wesentliche Dimensionsverhältnisse, wie z. B. die Dicke der Wandungen bei Zellgeweben, desgleichen gewisse Einzelnheiten der Form im Entwurf unrichtig ausfallen, die Nachhülfe der freien Hand zur Erzielung wahrer Contouren also durchaus nothwendig wird. Die Vollendung der Zeichnung ist ohnehin nur mit freier Hand möglich; es ist diess das schwerste und

*) Harting beschreibt dieses Verfahren folgendermaassen: »Ein Stückchen Glaspapier wird mit etwas arabischem Gummi auf das Deckplättchen geklebt, unter dem sich ein mikroskopisches Präparat befindet. Nun bringt man dieses unters Mikroskop und mit einer Graveurnadel zeichnet man die Umrisse des vergrösserten Objects auf das Glaspapier. Weiterhin zeichnet man darauf ein Netz von Strichen, wodurch das ganze in viereckige Felder abgetheilt wird, und hierauf trägt man ein ähnliches Netz grösserer Vierecke auf ein Stück Papier auf und überträgt darauf die auf dem Glaspapier bewirkte Zeichnung.«

letzte Stück Arbeit, wobei neben der Gewissenhaftigkeit auch die Geschicklichkeit des Zeichners in Betracht kommt. Wer zeichnen gelernt hat, weiss schon mit einfachen Umrissen, die er hie und da etwas verstärkt, mehr zu erreichen, als der Ungeübte mit Wischer und Farbe. Der Letztere ist in schwierigen Fällen gar nicht im Stande, ein annähernd naturwahres Bild herzustellen. Es ist daher Jedem, der sich mikroskopischen Forschungen widmet, dringend zu empfehlen, sich von Anfang an im Wiedergeben des Gesehenen zu üben. Am besten geschieht diess natürlich immer unter der Leitung eines Lehrers; Bücher bilden einen so schlechten Ersatz, dass wir gänzlich darauf verzichten, denselben hier bieten zu wollen.

Man kann übrigens in der Ausführung der Abbildungen je nach dem Zwecke, den man erreichen will, sehr verschieden weit gehen. In manchen Fällen ist eine Umrisszeichnung zur Versinnlichung morphologischer oder anatomischer Verhältnisse vollkommen genügend; in anderen beschränkt sich die weitere Ausführung auf eine rein conventionelle Schattirung gewisser Partieen, auf deren Hervorhebung man gerade Werth legt. In gleicher Weise kann bei einer geschichteten oder fibrösen Substanz der Schichten- oder Faserverlauf durch einfache Linien dargestellt werden; die Linien bezeichnen aber in diesem Fall weder dichtere noch weichere Schichten, sie deuten bloss das Vorhandensein derselben an und veranschaulichen ihren Verlauf.

Anders gestaltet sich die Aufgabe, wenn die Abbildung bis auf die kleinsten noch darstellbaren Details naturwahr sein soll, in dem Sinne wenigstens, dass Licht- und Schattenvertheilung in rationeller Weise zur Veranschaulichung kommen. Man kann aber auch dann noch auf zwei verschiedene Arten verfahren. Die grösste Annäherung an die Natur würde man freilich durch genaue Wiedergabe der Lichtabstufungen, wie sie im mikroskopischen Bilde wirklich vorhanden sind, erreichen, wobei folgerichtig das Gesichtsfeld selbst einen seiner Helligkeit entsprechenden Ton erhielte. Die dichteren Schichten einer Membran müssten also hier am hellsten, die weicheren etwas weniger hell, die Schatten in allen Uebergängen bis zum tiefen Schwarz dargestellt werden. Auf diese Weise könnte eine geschickte Hand die realistische Durchbildung der Zeichnung so weit steigern, dass dieselbe dem mikroskopischen Bilde täuschend ähnlich würde.

Von gleichem Werth für wissenschaftliche Zwecke wäre auch das entgegengesetzte Verfahren, wobei die hellsten Stellen am dunkelsten, die dunkelsten am hellsten gehalten werden. Es kommt ja

hier, wie in der Kartographie, nur darauf an, die Zeichnung nach einem bestimmten Princip, gleichviel nach welchem, durchzuführen. Der Querschnitt einer cylindrischen Zelle, deren Membran aus zwei oberflächlichen dichteren und einer mittleren weicheren (röthlichen) Schicht besteht, liesse sich also nach dem Gesagten ebenso gut durch Fig. 151 *b* als durch Fig. 151 *a* darstellen. Die Darstellung auf weissem Grund würde sich überdiess besser zur Vervielfältigung eignen und überhaupt mehr praktische Vortheile bieten.

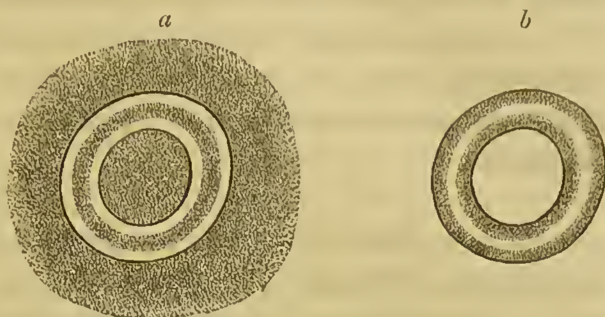


Fig. 151.

Prüfen wir nun nach diesen Erörterungen die anatomischen Ab- 257
bildungen, wie wir sie in neueren mikroskopischen Arbeiten finden, so muss uns auffallen, dass in der Regel weder das eine noch das andere Princip festgehalten ist. Die meisten Zeichner (wir nehmen uns selbst nicht aus) verfahren bewusst oder unbewusst in willkürlich eklektischer Weise, indem sie z. B. dickere Zellwandungen hell, dagegen die faserförmigen Verdickungen derselben, desgleichen die im Lumen enthaltenen Stärkekörner etc. dunkel darstellen. Jeder, der sich die Mühe nehmen will, ausgeführte anatomische Abbildungen hinsichtlich der Darstellungsweise zu prüfen, wird fast überall auf die angegebenen Inconsequenzen stossen. Wir wollen als Beispiel nur die eleganten Tafeln zum »Lehrbuch der Anatomie und Physiologie« von Schacht erwähnen. Es finden sich dort manche Figuren, die man auf den ersten Blick für sehr ausgeführte Abbildungen halten möchte, die sich aber bei genauerer Untersuchung als blosse Umrisszeichnungen herausstellen, in welchen die willkürlichsten Schattirungen zur Hervorhebung gewisser Theile dienen. Die concentrischen Kreise, womit z. B. die Schichtung der Bastzellen angedeutet ist (V, 3), entsprechen weder den weichen, noch den dichteren Schichten; denn wollte man das annehmen, so wäre das Dickenverhältniss der beiden Schichten ein total unrichtiges. Dasselbe gilt auch von andern geschichteten Membranen (III, 18, 26—28), sowie von den dargestellten Stärkekörnern. Um gewisse Zellcomplexe hervorzuheben, sind zuweilen die doppelt conturirten Membranen hell gelassen, die der umgebenden Zellen dagegen schattirt u. s. w. Wir kennen

überhaupt keine mikroskopischen Darstellungen von Schacht, welche nicht in ähnlicher Weise schematisch gehalten wären. Es ist überflüssig zu bemerken, dass wir damit keineswegs eine tadelnde Kritik zu üben beabsichtigen, da ja die schematische Darstellungsweise ihre Berechtigung hat, so gut wie jede andere. Wir wollten nur eine Thatsache constatiren, deren sich Mancher, wie es scheint, gar nicht bewusst ist.

258 Zu den Willkürlichkeiten, die man sich bei der Darstellung mikroskopischer Objecte gewöhnlich erlaubt, muss auch die beliebige Combination verschiedener Einstellungen gerechnet werden. Durchschnitte durch parenchymatische Gewebe werden z. B. nicht selten so dargestellt, als ob die einzelnen Zellen genau in gleicher Höhe lägen und durchgehends in der Mitte durchschnitten worden wären. Bei Spiralgefässen, Ringgefässen etc. vereinigt man häufig die Flächenansicht mit der mittleren Durchschnittsansicht; zuweilen kommt sogar noch die abgekehrte Seite hinzu. Andere pflegen die mikroskopischen Objecte beliebig vergrössert in Gedanken zu construiren und dann so darzustellen, wie sie bei auffallendem oder durchfallendem Licht dem blossen Auge erscheinen würden. Nach diesem Princip ist z. B. in Fig. 152 eine abgerollte Spiralfaser gezeichnet. Man erlaubt sich dabei die wunderlichsten Freiheiten, indem man z. B. Zellmembranen voraussetzt, die durchsichtig und undurchsichtig zugleich sind; durchsichtig insofern, als die nach innen vorspringenden Verdickungen (Ring- und Spiralfasern etc.) sichtbar gedacht werden, undurchsichtig dagegen mit Rücksicht auf den Verlauf der Spirale (an den Kreuzungsstellen wird nur die zugekehrte Seite gezeichnet) und die Schattirung der umgebenden Hülle. Die Spirale selbst wird bald auf der zugekehrten, bald auf der abgekehrten Seite schattirt oder schraffirt, eine bestimmte Beleuchtung aber weder im einen noch im andern Falle vorausgesetzt. Kurz es herrscht in der Darstellung mikroskopischer Objecte, wenn man von den Formverhältnissen in der Ebene der Zeichnung, die Jeder so genau als möglich giebt, absieht, eine Willkür, die buchstäblich keine Schranken kennt.


Fig. 152.

Die Widersprüche, an denen die übliche Darstellungsweise leidet, lassen auch nicht so bald eine gründliche Abhülfe erwarten. Einerseits das flächenhafte mikroskopische Sehen bei durchfallendem Licht und grosser Oeffnung der zum Auge gelangenden Lichtkegel:

andererseits das Bestreben, die Objecte in ihrer Körperlichkeit oder doch in verschiedenen Durchschnittsansichten zugleich darzustellen, dann die Gewohnheit, bei solchen Darstellungen sich an das Sehen mit blossem Auge und bei auffallendem Licht zu halten, und endlich die Schwierigkeit oder gar Unmöglichkeit, die Bedingungen des mikroskopischen Sehens für das blosse Auge herzustellen — wir wüssten in der That nicht, wie diese Gegensätze je in befriedigender Weise gelöst werden könnten. Die naturgemässe Wiedergabe des mikroskopischen Bildes in photographisch-treuer oder doch in rationell-schematischer Weise ist und bleibt nur für eine bestimmte Einstellung denkbar, bei körperlichen Darstellungen ist sie ein Ding der Unmöglichkeit.

Siebenter Abschnitt.

Die Polarisationserscheinungen.

I.

Einrichtung des Polarisationsmikroskops.

259 Bei der Untersuchung mikroskopischer Objecte im polarisirten Licht ist vor Allem eine zweckmässige Einrichtung des Polarisationsmikroskops von Wichtigkeit. Wenn wir als bekannt voraussetzen, dass ein solches Instrument zwei polarisirende Vorrichtungen besitzen muss: einen sogenannten Polarisator unter dem Object und einen Analysator über dem Object, so bleibt uns zunächst zu erörtern übrig, wie dieselben am zweckdienlichsten hergestellt werden und wie sie unter den gegebenen Verhältnissen wirken; sodann knüpft sich hieran die weitere Frage, welche Hülfsmittel und Nebenapparate für die Bequemlichkeit und Sicherheit der Untersuchung ausserdem noch wünschenswerth seien. Bevor wir jedoch diese Punkte in Betracht ziehen, müssen wir die Bemerkung vorausschicken, dass wir im Folgenden zunächst nur wirkliche Mikroskope im Auge haben, d. h. Instrumente, welche nach Wegnahme der polarisirenden Apparate zu gewöhnlichen Untersuchungen benutzt werden können. Polarisationsapparate von wesentlich anderer Construction, wie z. B. das sogenannte Nörrenberg'sche Polarisationsmikroskop, sollen nachträglich, soweit sie bei mikroskopischen Objecten Verwendung finden können, besonders besprochen werden.

1. Der Polarisator.

260 Soll der Polarisator auch bei stärkeren Vergrösserungen noch brauchbar sein, so muss er einen Lichtkegel liefern, dessen peripherische Strahlen mindestens um 8 — 10 Grade von der Senkrechten

abweichen; denn da ohnehin bloss die Hälfte des einfallenden Lichtes durchgeht, so ist eine um so grössere Convergenz desselben zur Erleuchtung des Gesichtsfeldes nothwendig. Die Herstellung eines solchen Lichtkegels lässt sich in zweierlei Weise denken: entweder wird er vom Polarisator direct geboten, indem derselbe Strahlen von verschiedener Neigung gleich vollständig zu polarisiren vermag, oder die austretenden polarisirten Strahlen sind unter sich annähernd parallel und werden nachträglich durch eine Sammellinse, welche zwischen Object und Polarisator angebracht ist, convergent gemacht. Die letztere Einrichtung finden wir bei den sogenannten Polarisationsapparaten, wie sie von Duve, Nörrenberg etc. hergestellt wurden; sie ist überall anwendbar, wo der Raum das Einschalten eines Condensors über den reflectirenden oder brechenden Vorrichtungen gestattet, und bedarf nach dem, was früher über die Beleuchtung im Allgemeinen gesagt wurde, keiner weiteren Erklärung. Die erstere Einrichtung ist dagegen die gewöhnliche der Polarisationsmikroskope; sie verdient hier auch entschieden den Vorzug, indem sie an jedem Stativ leicht angebracht werden kann und ohne weitere Nebenapparate vollständig polarisirtes Licht mit hinreichender Convergenz zur Wirkung bringt.

Die bekannteste polarisirende Vorrichtung dieser Art ist das 261
Nicol'sche Prisma. Da die Construction desselben in jedem physikalischen Lehrbuche besprochen ist, so glauben wir sie hier als bekannt voraussetzen zu dürfen; wir wollen zur Orientirung bloss beifügen, dass in Fig. 153 *ab* und *ef* die beiden künstlich angeschliffenen Flächen darstellen, welche unter 68° gegen die Seitenkante *ad* geneigt sind, während man in *bc* und *de* noch die Flächen eines stumpferen Rhomboeders angedeutet sieht. Die Trennungsfläche *be*, an der die beiden Hälften zusammengekittet sind, bildet mit den angeschliffenen Endflächen Winkel von 89° 17′, die man folglich ohne grossen Fehler einem Rechten gleichsetzen kann. Alle genannten Flächen stehen senkrecht auf dem mit der Ebene des Papiers zusammenfallenden Hauptschnitt des Krystalls.

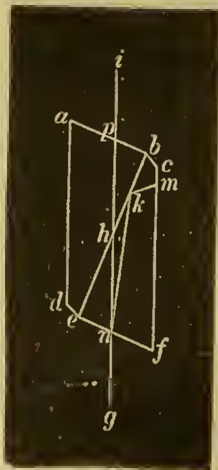


Fig. 153.

Die optische Wirkung eines solchen Nicol besteht nun darin, dass der von unten einfallende Strahl *gn* sich in zwei Strahlen theilt, wovon der ordentliche *nk* an der Canadabalsamschicht eine totale

Reflexion erfährt und an den geschwärzten Seitenflächen des Prismas verschluckt wird, indess der schwächer gebrochene ausserordentliche durchgeht und in der Richtung pi das Gesichtsfeld erreicht. Beide Strahlen sind polarisirt und zwar der wirksame ausserordentliche senkrecht zur Ebene des Hauptschnittes; seine Polarisationsebene wird die Polarisationsebene des Nicol genannt. In der Queransicht des Prismas wird dieselbe durch die längere Diagonale bestimmt, indem die kürzere dem Hauptschnitt parallel geht.

262 Die grösstmöglichen Neigungen, welche die einfallenden Strahlen nach den verschiedenen Seiten hin erreichen dürfen, sind unter den gegebenen Verhältnissen offenbar durch die entsprechenden Grenzwinkel der totalen Reflexion an der Balsamschicht bestimmt. Verfolgen wir zunächst die in der Papierebene nach rechts abweichenden Strahlen. Der Brechungscoefficient des Kalkspathes sei 1,6583 und derjenige des Canadabalsams nach Brewster 1,549; dann ist für den ordentlichen Strahl der Sinus des Grenzwinkels $= \frac{1,6583}{1,549}$, was für den Winkel selbst 69° 4′ ergiebt. Ist also kf (Fig. 154) ein nach rechts abweichender einfallender Strahl und fh der ordentlich-gebrochene, so bildet dieser letztere, wenn er ein Grenzstrahl ist, mit dem Einfallsloth hg den eben bezeichneten Winkel von 69° 4′. Zieht man jetzt durch f eine Senkrechte auf dc und verlängert dieselbe bis g, so ist δ der Einfallswinkel, γ der Brechungswinkel und z die Neigung des einfallenden Grenzstrahls zur Axe. Im Viereck $dfhg$ ist aber nach Früherem $\alpha = 89° 17'$, folglich, da die Winkel in h und f rechte sind, $g = 90° 43'$. Man erhält demnach

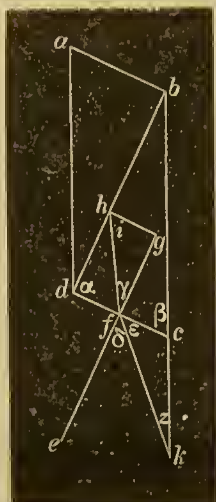


Fig. 154.

$$\gamma = 180° - (69° 4' + 90° 43') = 20° 13' \text{ und da}$$
$$\sin\delta = \cos\varepsilon = 1,6583 \sin\gamma$$
$$\varepsilon = 55° 2'.$$

Da ferner $\beta = \varepsilon + z$, folglich $z = \beta - \varepsilon$, so ergiebt sich als Maximum der Neigung
$$z = 12° 58'.$$

Wird dagegen der Brechungscoefficient des Canadabalsams nach Wollaston $= 1,528$ gesetzt, so erhält man für den Grenzwinkel der gänzlichen Zurückwerfung 67° 7′. Hiernach wird $\gamma = 22° 10'$ und $z = 16° 44'$.

Weniger einfach ist die Rechnung für die nach der andern Seite 263
geneigten Strahlen. Hier sind es die durchgehenden ausserordentlichen, deren Grenzwinkel die grösstmögliche Abweichung von der Senkrechten bestimmt; denn die ordentlichen treffen die Balsamschicht um so schiefer, je grösser die Neigung, und erfahren daher stets eine vollständige Reflexion. Der Brechungscoefficient der ausserordentlichen Strahlen ist nun aber eine veränderliche Grösse, welche nach Rudberg im Minimum 1,48635 beträgt und mit der Abweichung nach links allmählich zunimmt, bis die Richtung der krystallographischen Hauptaxe erreicht ist. Da die letztere im gegebenen Falle mit der Senkrechten einen Winkel von 63° 44′ bildet, so ist der jedesmalige Werth für die verschiedenen Abweichungen durch den Leitstrahl einer Ellipse bestimmt, deren grosse Axe mit der krystallographischen Hauptaxe zusammenfällt und sich zur kleinen verhält wie 1,6585 zu 1,48635. Für einen im Krystall um 15° nach links abweichenden Strahl ergiebt sich hienach als Brechungscoefficient 1,5636, welcher Werth gerade hinreicht, um an der Canadabalsamschicht, die der Strahl unter 82° 17′ trifft, eine Totalreflexion zu veranlassen (den Brechungsindex des Balsams zu 1,549 genommen). Wird die Brechung an der untern Fläche des Nicol mit in Rechnung gebracht, so ergiebt sich als Maximum der Neigung für die einfallenden Strahlen c. 11°. In Wirklichkeit mag diese Grösse, da der Brechungscoefficient des Canadabalsams von Wollaston und Young etwas geringer angegeben wird, noch um 2—4 Grade kleiner ausfallen.

Die Gesammtöffnung des einfallenden Lichtkegels in der Rich- 264
tung von rechts nach links beträgt also nach dem Vorhergehenden 12° 58′ + 11° für das eine, und 16° 44′ + 7° für das andere Extrem, folglich in beiden Fällen nahezu 24°. Diese Grösse stimmt mit der an einem Nicol von Bénèche experimentell bestimmten ziemlich genau überein. — In der Richtung senkrecht zur Papierebene fallen die Neigungswinkel noch etwas grösser aus; sie werden hier einzig und allein durch die Dimensionsverhältnisse des Prismas bestimmt.

Damit ist aber noch nicht gesagt, dass ein solcher Lichtkegel dem Gesichtsfelde des Mikroskops in seiner ganzen Ausdehnung zu Gute komme. Der in Fig. 155 genau construirte Strahlengang zeigt vielmehr, dass diess nur unter den günstigsten Verhältnissen möglich ist. Die beiden Linien *mn* und *pq* stellen zwei Grenzstrahlen dar,

welche das Prisma in den oben bestimmten Richtungen durchsetzen und an den Grenzflächen die angedeutete Ablenkung erfahren. Zieht man nun durch die Endpunkte b und d der Canadabalsamschicht zwei Linien parallel zu diesen Grenzstrahlen und verlängert dieselben nach oben bis zu ihrem Durchschnittspunkt s, so ist einleuchtend, dass wenn s im Gesichtsfelde $A B$ liegt, diess der einzige Punkt ist, welcher durch den vollen Lichtkegel beleuchtet wird. Zu allen übrigen Punkten gelangt nur ein Theil dieses Lichtkegels und zwar ein um so kleinerer, je grösser der Abstand von s. Man begreift auch, dass wenn die Einstellungsebene des Mikroskops in einem etwas höheren Niveau liegt, was gewöhnlich der Fall ist, sich die Oeffnung des Kegels auch für die Mitte des Gesichtsfeldes um so mehr reduciren muss, je weiter dieselbe von $A B$ absteht.

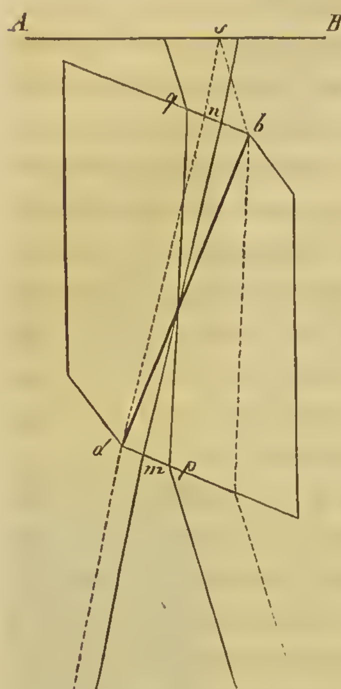


Fig. 155.

Für die Praxis ergiebt sich hieraus die Regel, das Nicol'sche Prisma der Einstellungsebene so viel als möglich zu nähern, da ein Fernerrücken wie eine Verkleinerung des Lichtkegels wirkt. Da jedoch der Optiker auch darauf zu sehen hat, dass der zum Einschalten der Gypsplättchen erforderliche Raum übrig bleibt, so darf er eine gewisse Grenze der Annäherung nicht überschreiten. Der optisch wirksame Theil des Lichtkegels reducirt sich in Folge dessen auf e. 20° Oeffnung. Ein Polarisator von Bénèche ergab für das Niveau des Objecttisches in der Mitte des Gesichtsfeldes 21½°. Wo eine solche Oeffnung nicht ausreicht, muss die Convergenz der Strahlen durch eine über dem Nicol angebrachte Beleuchtungslinse gesteigert werden.

265 Soll der Polarisator auch die mehr peripherischen Punkte des Gesichtsfeldes hinreichend erhellen, so darf der Durchmesser der Endfläche nicht zu klein sein. Da nun die Länge eines Nicol fast dreimal so gross ist, als dieser Durchmesser, so kommt ein solches Prisma sehr theuer zu stehen.*) Foucault suchte diesem Uebel-

*) Eine verbesserte und etwas wohlfeilere Construction des Nicol'schen Prismas will Hasert (Pogg. Annal. Bd. 113 pag. 188) dadurch erzielt haben,

stande abzuhelfen, indem er den Canadabalsam durch eine Luftschicht ersetzte. Dadurch wird für den ordentlichen Strahl der Grenzwinkel der totalen Reflexion auf 37° 5′ reducirt, und die Brechungsverhältnisse stellen sich am günstigsten heraus, wenn α in Fig. 156 = 51° und β = 70° 52′, welche letztere Grösse der natürlichen Neigung entspricht. Setzt man $cd = 1$, so erhält man durch trigonometrische Berechnung $bc = 0{,}915$. Das Foucault'sche Prisma ist hienach verhältnissmässig über dreimal so kurz als das Nicol. Dasselbe lässt sich daher aus kleineren Kalkspathkrystallen herstellen und kommt in Folge dessen billiger zu stehen. Es leidet dagegen an dem Uebelstand einer sehr kleinen Oeffnung, indem die grösstmögliche Abweichung von der Senkrechten nur ungefähr 4° — statt 12° wie beim Nicol — beträgt. Ohne Condensor wäre daher ein solches Prisma für das Mikroskop kaum zu gebrauchen.

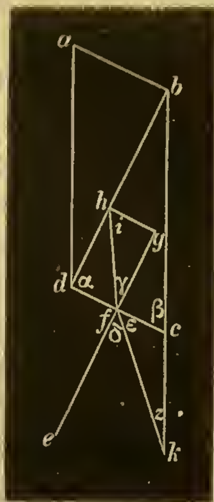


Fig. 156.

Neben den Kalkspathprismen wurden von jeher auch Turmaline häufig zu Polarisationsuntersuchungen benutzt. Der Turmalin hat bekanntlich die Eigenschaft, in Platten von c. 1 m. m. Dicke, wenn sie der Axe parallel geschnitten sind, das ordentliche Bild zu absorbiren und nur die ausserordentlich-gebrochenen Strahlen durchzulassen. Diese Eigenschaft lässt sich namentlich bei Turmalinen, welche roth bis rothbraun oder grün gefärbt sind, leicht nutzbar machen, indem die Krystalle nicht nur hinreichend durchsichtig, sondern auch leicht so gross zu bekommen sind, dass man Platten von c. 5 m. m. im Durchmesser und darüber herausschneiden kann. Allein da solche Platten nie die reinen Polarisationsfarben liefern, indem diese durch die eigene Farbe des Turmalins modificirt werden, so sind sie als Polarisatoren, so viel wir wissen, nie in Gebrauch gekommen. Dagegen werden sie hie und da als Zerleger benutzt. 266

Der nämliche Missstand macht sich auch bei der Verwendung

---

dass er statt des Canadabalsams ein Mittel wählt, dessen Brechungsindex demjenigen des ausserordentlichen Strahls im Kalkspath gleich ist. Er gibt an, dass der Schnittwinkel dadurch von 90° auf 81° reducirt werde, was natürlich einer entsprechenden Verkürzung des Prismas bei gleicher Grundfläche gleich kommt. Auch soll (was wir übrigens nicht begreifen) der Saum der Polarisationszone weder blau noch roth erscheinen, sondern nur eine schwache secundäre Färbung zeigen, etwa wie ein gut corrigirtes Objectiv. Solche verbesserte Prismen sind jederzeit von Hasert zu beziehen.

der in neuester Zeit von Haidinger empfohlenen Herapathit-krystalle fühlbar. Der Herapathit polarisirt zwar das Licht schon in Plättchen von $\frac{1}{20}$ m. m. Dicke sehr vollständig, stört aber ebenfalls durch seine eigene grüne Farbe. Ueberdiess sind grössere Plättchen schwer zu erhalten und daher sehr theuer.

267 Unter diesen Verhältnissen verdient das Nicol'sche Prisma als polarisirender Apparat unbedingt den Vorzug. Seine Oeffnung ist gerade gross genug, um für ein hinreichend grosses Gesichtsfeld nur ausserordentliche Strahlen zu liefern, während die Foucault'sche Einrichtung auch schief einfallende ordentliche durchlässt, wenn nicht durch sehr kleine an der Fassung angebrachte Blendungen alle über 4° gegen die Senkrechte geneigten Strahlen vom Gesichtsfelde abgehalten werden.

Die Fassung des Nicol wird am besten so eingerichtet, dass sie nach Art einer Cylinderblendung von unten in den Objecttisch eingeschoben werden kann. Die Blendung soll möglichst nahe über der Endfläche des Prismas angebracht sein und nöthigenfalls durch einen Condensor ersetzt oder mit demselben verbunden werden können, um die Convergenz der Strahlen zu steigern. Achromatische Condensatoren sind hier natürlich ebenso überflüssig, als bei der Beleuchtung mit gewöhnlichem Licht; eine planconvexe Linse von hinreichendem Durchmesser thut ganz dieselben Dienste.

268 Was die Stellung des Nicol zur Lichtquelle betrifft, so empfiehlt Mohl*), den Querdurchmesser der rhombischen Endfläche senkrecht zur Drehungsaxe des Beleuchtungsspiegels einzustellen, um dadurch auch das durch die Reflexion an der Spiegelfläche theilweise polarisirte Licht nutzbar zu machen. Valentin**) wendet hiegegen ein, dass die Verluste, welche der Beleuchtungsspiegel durch theilweise Polarisation verursache, mit dem Stand der Sonne sich ändern, weil ja das vom Himmel einfallende Licht, wie Brewster gezeigt habe, bereits theilweise polarisirt sei und zwar in einer Ebene, die durch die gesehene Himmelsstelle, die Sonne und das Auge geht, oder in einer darauf senkrechten Ebene, die das Auge und die Himmelsstelle durchschneidet. Er folgert hieraus, dass sich eine allgemeine Regel über die günstigste Orientirung des Nicol nicht geben lasse.

---

*) Pogg. Ann. Bd. 108. 1859. pag. 181—183.

**) Die Unters. der Pflanzen- und Thiergewebe im polar. Licht, pag. 101.

Unseres Erachtens ist dieser Einwand Valentin's unbegründet. Denn die Verluste, welche das vom Himmel einfallende Licht durch den Beleuchtungsspiegel erfährt, sind von denjenigen, welche das reflectirte Licht beim Durchgang durch den Nicol erleidet, durchaus unabhängig. Erstere sind für den Beobachter durch die Lage des Arbeitszimmers und die dadurch bedingte Stellung des Spiegels in jedem Zeitmoment bestimmt. Sie mögen übrigens gross oder klein sein, der polarisirte Theil des reflectirten Lichtes ist unter allen Umständen in der Reflexionsebene polarisirt und wird daher vom Nicol ungeschwächt durchgelassen oder vollständig absorbirt, je nachdem die Polarisationsebene des ausserordentlichen Strahls mit der Reflexionsebene des Spiegels zusammenfällt oder darauf senkrecht steht. Die Stellung des Nicol ist also maassbestimmend für den polarisirten Theil des einfallenden Lichtes, indess der nicht polarisirte Theil selbstverständlich in jeder Stellung zur Hälfte durchgelassen wird.

Theoretisch betrachtet ist demnach die von Mohl gegebene Vorschrift begründet. Was dagegen ihren praktischen Werth betrifft, so möchten wir denselben nicht gerade hoch anschlagen, weil die Differenzen der Lichtstärke, die man beim Drehen des Polarisators beobachtet, doch immer so gering sind, dass man sie ohne irgend erheblichen Nachtheil vernachlässigen darf. Von grösserem Belang ist jedenfalls die Spiegelung der schiefen Endfläche, insofern nämlich das von oben und von der Seite einfallende Licht nicht vollständig abgehalten wird. Um dieselbe zu vermeiden, thut man gut, die schiefe Endfläche von der Lichtseite ab- und dem Zimmer zuzuwenden.

2. Der Analysator.

Von den mancherlei Modificationen, welche hier denkbar sind, 269
wollen wir zunächst die verschiedenen Stellungen zu den brechenden Flächen des Mikroskops in Betracht ziehen. Theoretisch ist es natürlich vollkommen gleichgültig, an welcher Stelle über dem Object die Zerlegung stattfinde; es ist bloss nothwendig, dass sie sich auf alle zum Auge gelangenden Strahlen erstrecke. Der Analysator kann also ebenso gut über dem Ocular als über dem Objectiv, er kann auch an einer beliebigen Stelle in der Mikroskopröhre angebracht sein, und wenn sein Oeffnungswinkel gross genug ist, sogar zwischen Object und Objectiv. Die Frage ist nur, welche praktischen Vor- und Nachtheile diese verschiedenen Stellungen mit sich bringen.

Befindet sich der analysirende Nicol nahe über dem Objectiv-

system, wie bei manchen Oberhäuser'schen Mikroskopen, so ist es nach Brücke*) nur durch starkes Abblenden möglich, bei rechtwinkliger Kreuzung der Nicols ein vollständig dunkles Gesichtsfeld herzustellen. Man verliert also dieser Angabe zufolge an Lichtstärke, was man an Vollständigkeit der Polarisation gewinnt. Ueberdiess lässt sich erwarten, dass das Objectivbild durch Einschaltung eines so massenhaften Körpers an Schärfe etwas verlieren muss und natürlich um so mehr, je unvollkommener dessen Flächen geschliffen sind. Andererseits wird man mit H. v. Mohl**) einen Vortheil darin finden, dass man durch diese Stellung ein grösseres Gesichtsfeld erzielt, als durch jede andere, und dass man dasselbe überdiess bequem überblicken kann.

Valentin***) sucht die unvollständige Verdunkelung des Gesichtsfeldes durch die Divergenz der Strahlen nach dem Durchgange durch das Objectiv zu erklären. Sobald diese Divergenz, heisst es an der citirten Stelle, den Oeffnungswinkel des Nicol übertrifft, so gehen neben den ausserordentlichen auch ordentliche Strahlen durch, die entgegengesetzt polarisirt sind und folglich bei gekreuzten Nicols ein helles Gesichtsfeld geben. Das ist natürlich vollkommen richtig, allein da der Grenzwinkel der gänzlichen Zurückwerfung c. 12° oder nach Valentin sogar 14—18° für die Axe des Nicol beträgt, so ist die Annahme einer so bedeutenden Divergenz durchaus ungerechtfertigt. Die bilderzeugenden Lichtkegel, welche aus dem Objectiv hervortreten, stehen mit ihrer Basis auf der zweiten Hauptebene desselben und füllen je nach der Vergrösserung eine Oeffnung von c. 3—5 m.m. aus. Das Maximum ihrer Neigung ist durch die Grösse der Blendung im Oculareinsatz bestimmt und beträgt bei den Mikroskopen, die wir kennen, nicht über 4°. Rechnet man hiezu die halbe Oeffnung der einzelnen Lichtkegel, die man auf c. 1° veranschlagen kann, so ergiebt sich als grösstmögliche Neigung der Randstrahlen gegen die Mikroskopaxe c. 5°. Von einem Durchgehen der ordentlichen Strahlen kann also hienach nicht die Rede sein.

Die Voraussetzung einer zu grossen Divergenz der austretenden Lichtbündel würde übrigens auch für den Fall, dass sie vollkommen begründet wäre, zur Erklärung der fraglichen Erscheinung nicht ausreichen. Denn da jeder Lichtkegel nach einem bestimmten Punkte im Bilde zielt, so müsste der mittlere Theil der Bildfläche, soweit er

---

*) Denkschr. d. Wiener Akad. Bd. XV. 1858. S. 69.

) Pogg. Ann. CVIII. 1859. S. 181. *) A. a. O. pag. 97.

von Strahlen mit weniger als 12° Neigung entworfen wird, bei gekreuzten Nicols doch vollkommen dunkel erscheinen. Erst am Rande würde eine nach aussen heller werdende Dämmerung bemerkbar, und dieser Randtheil könnte durch eine entsprechende Verkleinerung des Gesichtsfeldes leicht abgeschnitten werden.

Die weiteren Folgerungen, welche Valentin aus dieser eingebildeten Divergenz der Lichtkegel zieht, bedürfen nach dem Vorhergehenden keiner Widerlegung. Es ist einleuchtend, dass die Stärke des Objectivsystems, sowie die Grösse der Blendung am Beleuchtungsapparat unter den im Mikroskop gegebenen Verhältnissen auf die Neigung der ausfahrenden Strahlen so gut wie keinen Einfluss üben, sondern bloss die Helligkeit des Gesichtsfeldes verändern. Ebenso wenig kann die Länge der Mikroskopröhre hier in Betracht kommen, da die dadurch bedingten Unterschiede verschwindend klein ausfallen. — Man begreift ferner, dass die Divergenz der optisch wirksamen Strahlen zwischen Objectiv und Collectiv überall dieselbe sein muss, da ja die Fortpflanzung eine gradlinige ist; dass jedoch der Querschnitt des lichterfüllten Raumes nach oben allmählich zunimmt und zuletzt nahezu den Durchmesser des Collectivs erreicht. Daraus folgt aber, dass es vollkommen gleichgültig ist, an welcher Stelle der Mikroskopröhre der Analysator eingeschaltet sei, vorausgesetzt, dass die an ihm angebrachte Blendung immer dieselbe relative Grösse besitze, d. h. zu dem eben erwähnten Querschnitt der gesammten Strahlenmasse in demselben Verhältniss stehe. Das Anschrauben des Nicol an das untere Ende des Oculars, wie es von Harting empfohlen wurde, kann daher unmöglich Vortheile gewähren, die sich nicht auch bei tieferer Stellung erzielen liessen; es ist dagegen mit dem praktischen Nachtheil verbunden, dass das Prisma in jenem höheren Niveau beträchtlich grösser sein muss, um eine aequivalente Wirkung hervorzubringen. 270

Wir können nach unseren Erfahrungen das Einschalten des Analysators zwischen die brechenden Flächen des Mikroskops aus dem einfachen Grunde nicht empfehlen, weil dadurch die vorhergehende Durchmusterung des Gesichtsfeldes und die genaue Beobachtung bestimmter Objecte erschwert wird. Es kann nämlich bei Untersuchungen im polarisirten Licht von Wichtigkeit sein und ist jedenfalls immer sehr bequem, das Präparat vorerst bei heller Beleuchtung und grösstmöglicher Schärfe des Bildes, also ohne Zerleger, untersuchen zu können und diesen letzteren erst nachträglich auf den 271

zu prüfenden Gegenstand, nachdem man ihn in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht hat, wirken zu lassen. Um diesen Anforderungen zu genügen, kennen wir kein besseres Mittel als das schon von Talbot*) empfohlene: den obern Nicol über dem Ocular anzubringen. — In Betreff der Vollständigkeit der Polarisation haben wir dagegen nicht gefunden, dass ein in der Mikroskopröhre angebrachter Analysator bei gekreuzter Stellung in merklichem Grade Licht durchlasse; das Gesichtsfeld war vielmehr so vollständig verdunkelt, dass wir mit Rücksicht hierauf keiner andern Lage den Vorzug geben würden.

272 Die Stellung des analysirenden Nicol über dem Ocular setzt übrigens bei den meisten Mikroskopen eine beträchtliche Grösse desselben voraus, insofern das Gesichtsfeld nicht allzu klein ausfallen soll. Ueberdiess kommt hier die Lage des Augenpunktes und die damit zusammenhängende Convergenz der Lichtbündel in Betracht. Es verlohnt sich der Mühe, den Einfluss dieser beiden Factoren genauer ins Auge zu fassen.

Halten wir uns zunächst an einen bestimmten Fall. Am Ocular Nr. 2 von Bénèche beträgt der Durchmesser des optisch wirksamen Theils der Ocularlinse c. 3,5 m. m.. Die peripherischen Lichtkegel, welche den Randpunkten des Gesichtsfeldes entsprechen, sind etwa 16° gegen die optische Axe geneigt, der Augenpunkt liegt c. 6 m. m. über dem Ocular. Veranschaulichen wir uns diese Verhältnisse durch eine genaue Construction (Fig. 157, wobei jedoch die Lichtbundel durch einfache Linien dargestellt sind) und denken wir uns ein Nicol mit seiner Fassung *B* aufgesetzt, so ergeben sich — da die Verschiebung der Strahlen parallel mit sich selbst vernachlässigt werden darf — unmittelbar folgende Schlüsse:

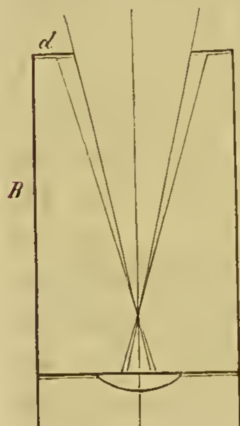


Fig. 157.

1) Die peripherischen Strahlenbündel müssen durch die Blendung bei *d* bis zu einer Neigung von c. 12° (dem Grenzwinkel der gänzlichen Zurückwerfung für die ordentlichen Strahlen) abgehalten werden. Das Gesichtsfeld wird also hierdurch eingeschränkt.

2) Da die Blendung beträchtlich über dem Niveau des Augenpunktes liegt, so übersieht das Auge mit einem Male nur ein kleines Stück des Gesichtsfeldes und muss über der Blendung hin und her bewegt werden, um nach einander auch die übrigen Theile wahrzu-

*) Pogg. Ann. XXXV. 1835. S. 330.

nehmen. Der Uebelstand ist natürlich um so grösser, je höher die Fassung des Nicol im Verhältniss zum Abstand des Augenpunktes. — Mann könnte indess das Ocular auch so construiren, dass der Augenpunkt in das Niveau der Blendung fiele, womit zugleich eine geringere Neigung der Strahlen zur Axe verbunden wäre. Das Auge würde alsdann von *d* aus das ganze Gesichtsfeld des Mikroskops mit einem Male überblicken, und das Abhalten der peripherischen Strahlen wäre überflüssig. Nur müsste natürlich der Durchmesser des Nicol dem wirksamen Theil der Ocularlinse entsprechen.

Will man sich mit einem kleinen Gesichtsfelde, wie dasselbe 273
von Bénèche's Ocular Nr. 2 unter den in Fig. 157 dargestellten Verhältnissen geboten wird, begnügen, so kann das Nicol auch durch ein einfaches Kalkspathprisma ersetzt werden. Das Bild, welches die ordentlichen Strahlen liefern, erscheint nämlich so weit seitlich verschoben, dass ein in der Axe befindliches Auge nur das der ausserordentlich gebrochenen Strahlen wahrnimmt. Ein solches Prisma ist sogar in manchen Fällen dem Nicol'schen vorzuziehen, da es die Vergleichung des complementären ordentlichen Bildes mit dem ausserordentlichen ermöglicht, wodurch die richtige Deutung und Bezeichnung der Polarisationsfarben oft wesentlich erleichtert wird. Zur bequemeren Beobachtung des ordentlichen Bildes wird die Fassung zweckmässig so eingerichtet, dass sie mindestens eine kleine seitliche Verschiebung des Prismas gestattet, gross genug, um dem Auge nach Belieben das eine oder das andere Bild in der Richtung der Mikroskopaxe vorführen zu können. Dass sie ausserdem noch den Anforderungen zu genügen hat, die man überhaupt an den Analysator stellen kann, ist selbstverständlich.

3. Der Apparat zum Drehen der Objecte.

Die Beobachtung der Veränderungen, welche die Polarisations- 274
farben beim Drehen der Objecte erfahren, ist bei Untersuchungen im polarisirten Licht so wichtig, dass die gewöhnlichen Manipulationen, durch welche man sonst solche Drehungen auszuführen pflegt, dem Bedürfnisse nicht mehr genügen und daher höchstens als Nothbehelf dienen können. Zur vollständigen Ausstattung eines Polarisationsmikroskops gehört durchaus eine Vorrichtung, welche nicht nur ein langsames Drehen um eine senkrechte sowohl als eine horizontale Axe ermöglicht, sondern auch den Winkel abzulesen gestattet, um welchen man gedreht hat.

Das Drehen um eine senkrechte Axe lässt sich am einfach-

sten mittelst einer zum Centriren eingerichteten Welcker'schen Drehscheibe bewerkstelligen, welche zum Behuf der Winkelbestimmungen mit einer Gradeintheilung versehen ist. Drehbare Objecttische nach gewöhnlicher Construction sind schon weniger bequem, weil die gleichzeitige Drehung der Mikroskopröhre auch die Stellung des Analysators verändert, wofern der letztere nicht mit der Hand oder durch eine besondere Vorrichtung festgehalten wird. Aber auch abgesehen hievon kann die Drehung der Objectivlinsen, wenn es auf geringe Farbenunterschiede ankommt, zu Täuschungen Veranlassung geben, da hiebei auch nach Wegnahme des Objectes nicht selten ein mehr oder minder deutlicher Wechsel, von der Anisotropie des Glases herrührend, bemerkbar ist. Man thut daher unter allen Umständen am besten, die Drehung auf das Object allein zu beschränken.

Die Bestimmung des Azimuths, in welchem man einen Gegenstand mit Rücksicht auf die Polarisationsebenen der Nicols eingestellt hat, ist übrigens auch mit Hülfe einer Gradeintheilung keineswegs mit der Genauigkeit möglich, die man sonst bei Winkelmessungen erreicht. Zwar lässt sich ein beliebiger Durchmesser der Drehscheibe ziemlich genau in die Diagonalebene des Polarisators bringen, da dieselbe durch die Kanten des Prismas in ihrer Lage bestimmt ist, und ebenso unterliegt auch die Orientirung des Analysators keiner besondern Schwierigkeit. Die rechtwinklige Kreuzung der Nicols ist bis auf einen Grad genau schon durch die grösstmögliche Dunkelheit im Gesichtsfelde bestimmt. Ganz anders verhält es sich aber, wenn das Azimuth eines mikroskopischen Objects, wie z. B. einer Krystallkante, mit Hülfe der Gradeintheilung auf der Drehscheibe gemessen werden soll. Hier handelt es sich nämlich darum, den Parallelismus von Linien herzustellen, wovon die eine nur mit dem rechten, die andere mit dem linken Auge gleichzeitig gesehen werden kann, — und in diesem Umstande liegt für den Unkundigen eine sehr erhebliche Fehlerquelle. Legt man z. B., während das rechte Auge ins Mikroskop sieht, einen Bleistift oder ein Lineal so auf die Drehscheibe, dass es beim Doppelsehen mit dem im Gesichtsfelde liegenden Gegenstand genau parallel verläuft oder vollends zusammenfällt, und sieht hierauf mit dem linken Auge ins Mikroskop, so bilden die vermeintlich parallelen Richtungen bei abermaligem Doppelsehen einen Winkel von 6—10 Grad. Es liegt auf der Hand, dass man unter solchen Umständen seinen eigenen Augen nicht mehr trauen darf.

Die Ursache dieser auffallenden Erscheinung, die man übrigens in ähnlicher Weise auch beim stereoskopischen Sehen wahrnimmt,

ist physiologischer Natur, und es ist nicht unsere Aufgabe, sie hier darzulegen; [1]) wir haben nur zu constatiren, dass eine solche Täuschung — sie mag nun etwas grösser oder geringer ausfallen — unvermeidlich ist, und hieran die für uns allein wichtige Frage zu knüpfen, wie sich unter diesen Verhältnissen das wahre Azimuth eines mikroskopischen Objects am sichersten ermitteln lasse.

In den meisten Fällen wird man der Wahrheit ziemlich nahe kommen, wenn man die Halbirungslinie des oben erwähnten Winkels von 6—10° als maassbestimmend ansieht. Bei normalen (nicht schielenden) Augen, welche beim Sehen in der Richtung der Mikroskopaxe annähernd dieselbe Raddrehung erfahren, kann der hiebei mögliche Fehler jedenfalls nur ganz unbedeutend sein. Wo indess die grösstmögliche Genauigkeit erreicht werden soll, ist dieses Verfahren nicht mehr genügend oder doch wenigstens einer Controle bedürftig. Man kann alsdann zu folgenden Mitteln greifen:

1) Ist das Ocular mit einer Oeffnung zum Einlegen des Mikrometers versehen, so wird statt des letzteren ein kleines Lineal, ein Glasstreifen oder ein anderer geeigneter Gegenstand eingeschoben und mit dem Rand des zu untersuchenden Objeets zur Deckung gebracht. Der aussen vorstehende Theil gibt alsdann die fragliche Richtung genau an, und es ist leicht, einen auf die Gradeintheilung zu legenden Zeiger damit parallel zu stellen.

2) Man stellt die Mikrometertheilung oder den Rand eines auf die Blendung gelegten Deckgläschens zu der in Frage stehenden Richtung im Gesichtsfelde parallel, entfernt nachher das Object und legt dafür eine hinreichend lange Glasplatte unter, deren im Gesichtsfelde als dunkle Linie erscheinenden Rand man in die nämliche, durch das Mikrometer bezeichnete Lage bringt. Die Verlängerung dieses Randes gibt alsdann auf der Gradeintheilung das gewünschte Azimuth. — Wird der Analysator auf die Mikroskopröhre aufgesetzt, so ist es vortheilhaft, ihn so anzubringen, dass seine Stellung beim Drehen des Oculars unverändert bleibt.

Das Drehen um eine wagrechte Axe geschieht ebenfalls am besten mit Hülfe einer besondern Vorrichtung, welche zum Auflegen auf den Objecttisch oder zum Anschrauben an denselben eingerichtet ist. Die Construction derselben lässt sich natürlich in sehr 275

[1]) Die hier angeregten Fragen wurden in neuerer Zeit mehrfach erörtert. Man lese z. B. die einschlägigen Arbeiten von Helmholz im »Archiv für Ophthalmologie« 1863 u. 1864, und die dort citirten älteren Abhandlungen.

verschiedener Weise denken; es mag jedoch genügen, wenn wir als einziges Beispiel das in Fig. 158 dargestellte Modell erwähnen, das

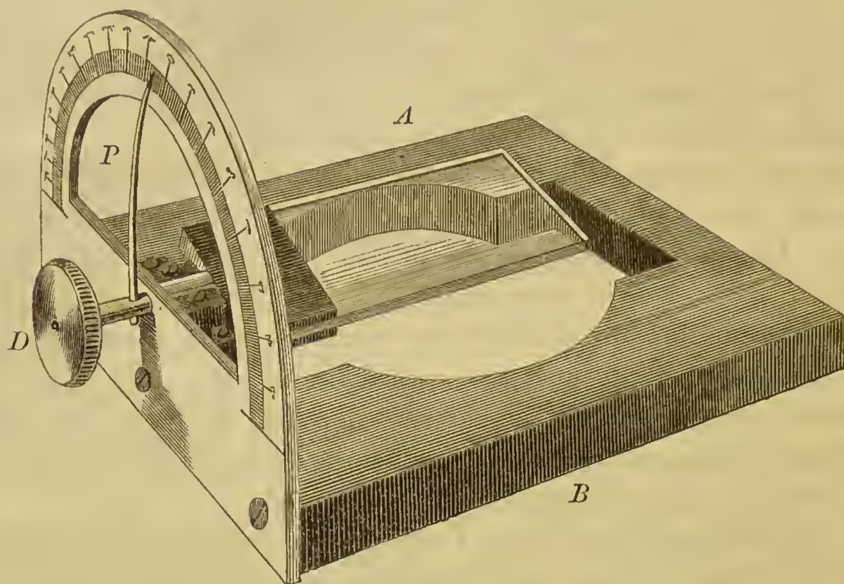


Fig. 158.

wir nach unseren Erfahrungen als praktisch und vollkommen ausreichend empfehlen dürfen.

Auf der messingenen schwarz lakirten Platte *AB*, welche in der Mitte durchbrochen ist, steht lothrecht ein mit Gradeintheilung versehener Halbkreis, in dessen Krümmungscentrum der Halter *D* so befestigt ist, dass er mit schwacher Reibung sich um eine senkrecht zur Kreisebene gestellte Axe drehen lässt. Dieser Halter endigt in zwei federnde Messinglamellen, zwischen welche die als Objectträger dienenden Glasplatten eingeklemmt werden. Der Zeiger *P*, welcher mit dem Halter in Verbindung steht, bewegt sich während der Drehung auf der Gradeintheilung und gibt den Drehungswinkel an.

Der Objectträger mit doppelter Drehung nach Valentin (Fig. 159) entspricht den Bedürfnissen nicht vollständig, weil er keine Winkelbestimmungen gestattet; doch mag er immerhin in manchen Fällen Verwendung finden. Derselbe ist zum Anschrauben

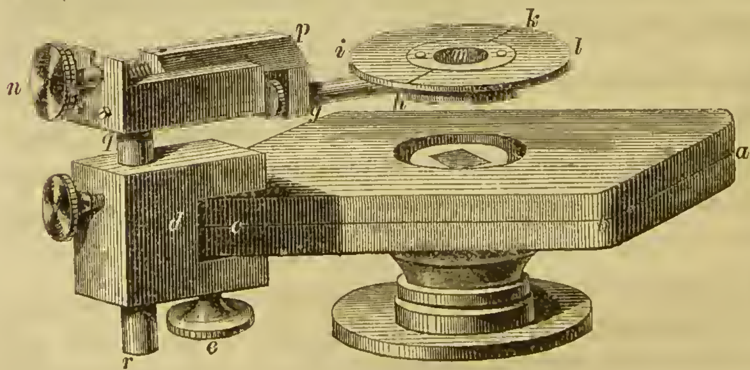


Fig. 159.

an den Objecttisch eingerichtet und mit Stellschrauben zum Centriren versehen. Die Scheibe *hikl* kann in ihrer eigenen Ebene und überdiess um die wagrechte Axe *gh* gedreht werden.

II.

Das Verhalten anisotroper krystallähnlicher Körper, einzeln beobachtet.

Wir wenden uns jetzt zur Erörterung der Erscheinungen, welche 276
anisotrope krystallähnliche Körper im polarisirten Licht hervorrufen. Nicht dass wir uns hier die Aufgabe gestellt hätten, physikalische Lehren vorzutragen, die man in jedem Handbuch der Physik mitgetheilt findet, wir setzen vielmehr voraus, dass der Leser mit den Grundlehren der Doppelbrechung und der Polarisation vertraut sei; allein es schien uns nichtsdestoweniger rathsam, die Beziehungen und Gesetze, die bei Anwendung der mikroskopischen Beobachtungsmethode von specieller Bedeutung sind, zunächst für krystallinische Medien zu entwickeln, um dadurch das schwierigere Studium der organisirten Substanzen vorzubereiten. Manche Begriffe und Benennungen, welche wir in der Folge doch erst festzustellen hätten, lassen sich an Krystallen leichter und unmittelbarer aus den Erscheinungen ableiten, als diess bei den complicirteren geschichteten Gebilden der Thier- und Pflanzengewebe der Fall sein würde. Jene bilden somit den natürlichen Ausgangspunkt für die Lösung unserer Aufgabe.

1. Das Elasticitätsellipsoid.

Das optische Verhalten doppelbrechender Krystalle findet be- 277
kanntlich in der Eigenschaft derselben, die Lichtwellen nach den verschiedenen Richtungen des Raumes mit ungleicher Geschwindigkeit fortzupflanzen, seine Erklärung. Die Fortpflanzungsfähigkeit erreicht nämlich in einer bestimmten Richtung ihr Maximum und in einer andern dazu rechtwinkligen ihr Minimum; dazwischen liegen die gesetzmässigen Uebergänge. Denkt man sich von einem beliebigen Punkt im Innern der Substanz aus Linien gezogen (Fig. 160), welche das relative Leitungsvermögen in den entsprechenden Richtungen darstellen, so liegen die Endpunkte dieser Linien in einer Fläche von ellipsoidischer Gestalt, in welcher der gedachte Punkt den Mittelpunkt bildet. Es ist diess die sogenannte Elasti-

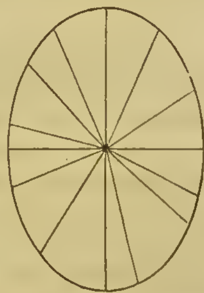


Fig. 160.

citätsfläche oder das Elasticitätsellipsoid.*) Die geometrischen Axen dieses Ellipsoids, die den Namen der Elasticitätsaxen führen, fallen mit den Krystallaxen zusammen, wo diese rechtwinklig sind, weichen dagegen in den schiefwinkligen Systemen mehr oder weniger davon ab. Bei monoklinischen Krystallformen findet die Abweichung jedoch nur in der Ebene statt, welche dieselben in zwei symmetrische Hälften theilt.

In Krystallen mit einer Hauptaxe und gleichen Nebenaxen, wozu die tetragonalen, hexagonalen und rhomboedrischen Formen gehören, ist das Leitungsvermögen senkrecht zur Hauptaxe nach allen Richtungen gleich und parallel derselben am grössten oder am kleinsten; das Elasticitätsellipsoid stellt hier eine Rotationsfläche dar, deren Drehungsaxe in die krystallographische Hauptaxe fällt. Dagegen sind in Krystallen mit drei ungleichen Axen, wie sie das rhombische, monoklinische und triklinische System aufweist, auch die geometrischen Axen der Elasticitätsfläche ungleich; die letztere ist hienach ein Ellipsoid mit einer grössten, einer mittleren und einer kleinsten Axe.

278 Um diese Eigenschaften mit dem innern Bau in einen gewissen Zusammenhang zu bringen, ist es gut, sich die analogen des comprimirten oder expandirten Glases ins Gedächtniss zu rufen. In einem Parallelepiped von Glas, welches mittelst einer Zange oder Presse zusammengedrückt wird, rücken bekanntlich die Massentheilchen in der Richtung der wirkenden Kraft sich gegenseitig etwas näher. Eine Kugel, welche man sich vor der Compression in das Glas hineindenkt (Fig. 161 *A*), plattet sich in Folge derselben in der angedeuteten Richtung ab (Fig. 161 *B*) und wird dadurch zum Rotationsellipsoid, dessen Hauptaxe jener Richtung parallel geht. Findet die Compres-

---

*) Streng genommen ist die Elasticitätsfläche, wie sie Fresnel auf analytischem Wege bestimmte, kein Ellipsoid, sondern ein Fläche der vierten Ordnung, deren Gleichung, auf rechtwinklige Axen bezogen, folgende ist

$$(z^2 + x^2 + y^2)^2 = a^2 x^2 + b^2 y^2 + c^2 z^2.$$

Die Diametralschnitte durch diese Fläche sind aber annähernd Ellipsen und in zwei bestimmten Lagen, ganz wie beim Ellipsoid, Kreise. Das nämliche gilt auch von der Elasticitätsfläche des Druckes nach Neumann. In der mathematischen Optik wird desshalb statt der wahren Elasticitätsfläche das viel leichter zu behandelnde Ellipsoid den weiteren Rechnungen zu Grunde gelegt.

Für die folgenden Betrachtungen ist übrigens eine bestimmte Voraussetzung in Betreff der Form der Elasticitätsfläche gar nicht nothwendig. Es genügt zu wissen, dass die Schnittflächen derselben im Allgemeinen ovale Figuren mit zwei ungleichen Axen und in zwei besonderen Fällen Kreise sind.

sion in zwei rechtwinklig aufeinander stehenden Richtungen statt (Fig. 162 *B* vgl. mit *A*), so behält nur der senkrecht zur Papierebene

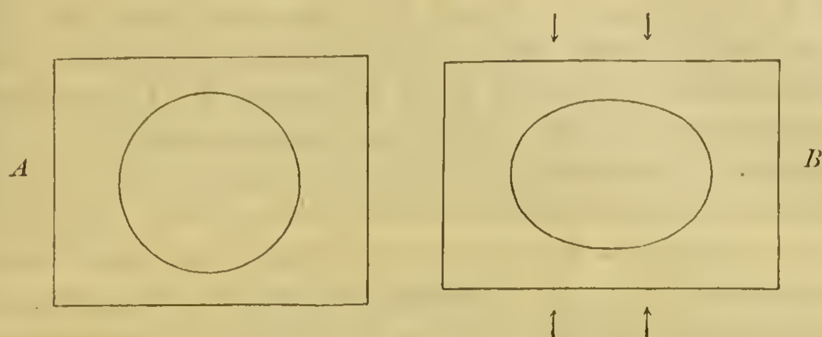


Fig. 161.

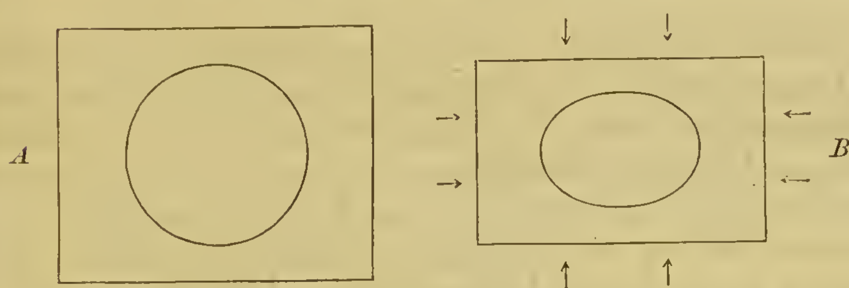


Fig. 162.

orientirte Kugeldurchmesser seine ursprüngliche Länge (streng genommen wird er durch den seitlich wirkenden Druck etwas verlängert), während die beiden andern sich um einen gleichen oder ungleichen Bruchtheil verkürzen, je nachdem die wirkenden Kräfte gleich oder ungleich sind. Gleiche Kräfte verwandeln hienach die Kugel in ein verlängertes Rotationsellipsoid, ungleiche in ein Ellipsoid mit drei ungleichen Axen.

Die Formveränderungen, welche die eingebildete Kugel in Folge der Compression erfährt, lassen sich also leicht bestimmen. Da nun im comprimirten Glase die Anziehung der Massentheilchen mit der Annäherung zunimmt und die Abstossung des Aethers ihr stets das Gleichgewicht hält, so muss angenommen werden, dass die Dichtigkeit des Aethers durch die Compression eine Veränderung im gleichen Sinne erfahre wie die Substanz. Mit der Dichtigkeit des Aethers ändert sich aber auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, und wenn wir auch unerörtert lassen, wie diese Veränderung erfolgt, so ist doch einleuchtend, dass das resultirende Ellipsoid in analoger Weise, wie die Elasticitätsfläche der Krystalle, die optischen Eigenschaften des comprimirten Glases veranschaulicht.

Es unterliegt auch keiner Schwierigkeit, die Uebereinstimmung für die verschiedenen denkbaren Fälle experimentell nachzuweisen. Wird das Glas bloss nach einer Richtung comprimirt oder expandirt, so verhält es sich wie ein Krystall mit einer Hauptaxe, die in der Richtung der wirkenden Kraft dahingeht; die Elasticitätsfläche ist ein Rotationsellipsoid. Lässt man sodann senkrecht zur ersten eine zweite ihr ungleiche Kraft wirken, so verwandelt sich das Rotationsellipsoid in ein solches mit drei ungleichen Axen; das Glas verhält sich jetzt wie ein Krystall ohne Hauptaxe. Man kann überhaupt ganz allgemein sagen: Ein Parallelepiped von Glas kann stets so comprimirt werden, dass sein optisches Verhalten einem gegebenen ein- oder zweiaxigen, positiven oder negativen Krystalle entspricht.

279 Die Art und Weise, wie die Aetherdichtigkeit auf die Bewegung des Lichtes einwirkt, ist durch die eben entwickelten Beziehungen im Allgemeinen festgestellt. Allein eine bestimmte Formulirung des fraglichen Abhängigkeitsverhältnisses ist damit noch nicht gewonnen. Jene Beziehungen genügen nicht, um das Elasticitätsellipsoid in ein gegebenes Medium mit bekannten optischen Eigenschaften, soweit sie durch Beobachtung bestimmbar sind, hineinzuconstruiren; es kann diess nur unter Voraussetzungen geschehen, welche der Theorie der Lichtbewegung entnommen und daher jedenfalls mit Thatsachen, wie sie die directe Beobachtung gibt, nicht zu verwechseln sind. Die Undulationstheorie in ihrer jetzigen Gestalt nimmt an, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes sei bloss von der Aetherbeschaffenheit in der Richtung der Schwingungen, nicht aber von derjenigen in der Richtung der Strahlen abhängig. Das Elasticitätsellipsoid wird hienach so construirt, dass die Durchmesser desselben, welche den Schwingungsrichtungen beliebiger Strahlen parallel gehen, den aus den Brechungscoefficienten berechneten Geschwindigkeiten entsprechen, womit jene Strahlen das krystallinische Medium durchsetzen. Es erscheint also beispielsweise in positiv-einaxigen Krystallen abgeplattet wie das Erdsphäroid, in negativ-einaxigen dagegen eiförmig-verlängert.

Wir haben es vorgezogen, diese theoretischen Vorstellungen zu umgehen und unsere Erörterungen ohne alle und jede Theorie an das Ellipsoid des Glases, wie es durch Druck oder Zug aus der Kugel entsteht, anzuknüpfen. Den negativ-einaxigen Krystallen schreiben wir dem entsprechend ein an den Polen abgeplattetes Rotationsellipsoid zu, weil sie in Plättchen, die parallel zur optischen Axe

geschliffen sind, wie eine Glasplatte wirken, welche in der Richtung jener Axe comprimirt wurde. Dagegen erhalten die positiv-einaxigen Krystalle ein in der Richtung der optischen Axe verlängertes Ellipsoid, weil sie sich optisch wie eine in gleicher Richtung expandirte Glasplatte verhalten. Die Vergleichung der doppelbrechenden Medien mit comprimirtem oder expandirtem Glas soll uns überhaupt immer das Mittel liefern, Form und Stellung des Elasticitätsellipsoids richtig zu bestimmen.

Die Benennung »Elasticitätsellipsoid« glauben wir füglich bei- 280
behalten zu dürfen, obschon wir eine genaue, algebraisch formulirbare Vorstellung von der Art, wie die Lichtbewegung durch die Radien unseres Ellipsoids bestimmt wird, hier gar nicht damit verbinden. Das Abhängigkeitsverhältniss, welches für unsere Zwecke Bedeutung hat, braucht weder in Ziffern noch durch Formeln ausgedrückt zu werden, es kann auch ebenso gut ein reciprokes als ein directes sein; aber es ist selbstverständlich doch überall dasselbe. Darum verlangt denn auch die Consequenz überall dieselbe, den Erscheinungen gleich angepasste Orientirung.

*2. Die Polarisationserscheinungen in ihren Beziehungen zum Elasticitätsellipsoid.

Wir gehen jetzt an die Feststellung der Beziehungen, welche 281
zwischen dem Elasticitätsellipsoid und den Erscheinungen der Doppelbrechung und Polarisation bestehen, wobei wir jedoch die Bemerkung vorausschicken, dass wir uns nur mit den Fällen befassen, welche für die mikroskopische Beobachtung von Bedeutung sind. Thatsachen, welche bloss den Physiker oder Mathematiker interessiren können, glauben wir füglich übergehen zu dürfen.

Das Elasticitätsellipsoid, das wir uns in die Substanz hineindenken wollen, sei ein solches mit drei ungleichen Axen; die grösste sei a, die mittlere b und die kleinste c. Dann sind die Schnittflächen, welche man sich in beliebiger Richtung durch das Centrum geführt denkt, im Allgemeinen Ellipsen, deren Excentricität am grössten ist, wenn sie in die Ebene der grossen und kleinen Axe fallen. In zwei Fällen jedoch — so lehrt die analytische Geometrie — werden diese Ellipsen zu Kreisen, und diese Kreisschnitte des Ellipsoids gehen stets durch die mittlere Axe oder sind ihr parallel. Die Neigung derselben zur Axe a ist durch das Verhältniss $a : b : c$ bestimmt; man hat

$$\text{tang } \delta = \pm \frac{c}{a} \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2 - c^2}},$$

wenn nämlich δ den fraglichen Neigungswinkel bezeichnet. Die Normalen der Kreisschnitte, d. h. die Linien, welche dieselben senkrecht treffen, liegen folglich in der Ebene der grössten und kleinsten Axe; sie schneiden die erstere unter Winkeln, welche die eben erwähnte Neigung δ zu 90° ergänzen.

Suchen wir diese Verhältnisse durch eine Figur zu veranschaulichen. Es sei *aa* (Fig. 163) die grösste und *cc* die kleinste Axe; die mittlere, welche senkrecht zur Papierfläche steht, erscheint alsdann in *b* als Punkt. Die beiden Kreisschnitte seien *kk* und *k' k'*; sie stehen ebenfalls senkrecht zur Papierfläche und werden daher als Linien gesehen, welche mit den Normalen *oo* und *o' o'* rechte Winkel bilden.

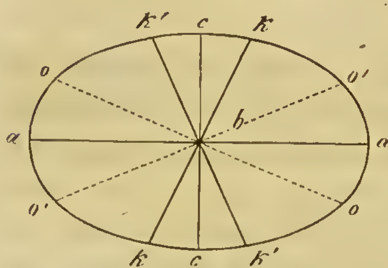


Fig. 163.

282 Mit diesen Eigenschaften des Elasticitätsellipsoids steht nun das optische Verhalten der doppelbrechenden Substanzen in folgendem Zusammenhang. Ist *P Q* (Fig. 164) ein Stück einer solchen Substanz mit beliebig orientirtem Elasticitätsellipsoid, so ist die Wirkung desselben auf das parallelstrahlige Lichtbündel *a b* nur von den Elasticitätsverhältnissen in einer senkrecht zur Strahlenrichtung verlaufenden Ebene *mn* abhängig und folglich durch die Ellipse bestimmt, welche den jener Ebene parallelen Diametralschnitt des Ellipsoids darstellt. Denken wir uns also ein beliebiges Object unter dem Mikroskop in langsamer Drehung begriffen, so dass sein Elasticitätsellipsoid (Fig. 165) nach und nach alle möglichen Neigungen gegen die von unten einfallenden Lichtstrahlen annimmt, so ist der Effect, den dasselbe hervorbringt, für jede Stellung durch die Schnittfläche *mbnb* bestimmt, welche der Ebene des Gesichtsfeldes parallel geht. Mit andern Worten: Eine planplane Platte, die man sich beliebig aus der Substanz herausschneidet und auf den Objecttisch legt, wirkt stets nach Maassgabe eines Schnittes, welcher in gleicher Richtung durch

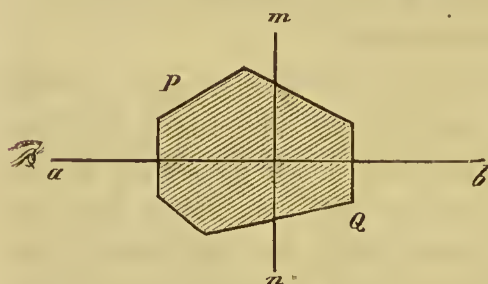


Fig. 164.

das Elasticitätsellipsoid geführt wird. Ein solcher Schnitt ersetzt also gewissermaassen das Ellipsoid; er gibt ein vollständiges Bild der unter den gegebenen Verhältnissen wirksamen Elasticitäten und kann daher als **wirksame Elasticitätsellipse** bezeichnet werden.

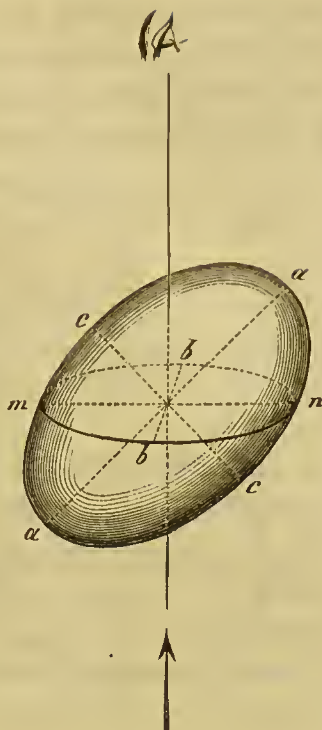


Fig. 165.

Der fragliche Zusammenhang ist hiemit vom Raume auf die Ebene zurückgeführt und lässt sich hier leicht veranschaulichen. Sei *pqrs* (Fig. 166) die wirksame Elasticitätsellipse und *pq* die grössere, *rs* die kleinere Axe; dann erfahren die (senkrecht zur Papierebene) einfallenden Lichtstrahlen eine Theilung in zwei Wellensysteme, welche in den Ebenen der beiden Axen polarisirt sind. Die Schwingungen des einen Systems finden also parallel *pq*, die des andern parallel *rs* statt. Die relative Grösse der Axen bedingt zugleich die Geschwindigkeiten, mit welcher die beiden Systeme das Object durchsetzen; je grösser *pq* im Verhältniss zu *rs*, desto grösser erweist sich die Differenz zwischen den beiden Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, sowie der dadurch bedingte Phasenunterschied bei gegebener Dicke des Objects.

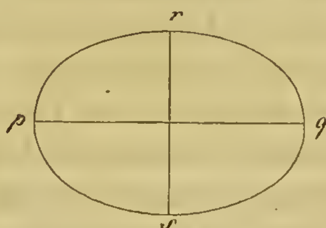


Fig. 166.

Beim Drehen des Objects ändert sich 283
natürlich das Verhältniss zwischen *pq* und *rs*, und es ist wichtig, sich über den Gang dieser Veränderungen zu orientiren. Wir denken uns vorläufig, die Drehungsaxe falle mit der mittleren Axe des Ellipsoids zusammen und die Drehung selbst finde in unserer Seitenansicht (Fig. 165) in der Ebene des Papiers statt; *aa* ist alsdann die grosse, *cc* die kleine Axe des Ellipsoids; die mittlere (*bb*) erscheint perspectivisch verkürzt. Betrachten wir nun zunächst die Stellung, in welcher *aa* mit der Ebene des Gesichtsfeldes zusammenfällt, so geht hier die wirksame Elasticitätsellipse durch die Axen *aa* und *bb* des Ellipsoids Dieselbe hat also ungefähr die Form, wie sie in Fig. 167 unter *A* dargestellt ist, indem natürlich *bb* grösser als *cc* und kleiner als *aa*. Drehen wir jetzt das Ellipsoid um die Axe *bb*

und lassen es hiebei wie eine rollende Kugel von links nach rechts fortrücken, so entspricht selbstverständlich jeder Stellung eine andere Elasticitätsellipse. In sämmtlichen Ellipsen, die hiebei successive zur Wirkung kommen, hat aber die eine Axe, weil sie die Drehungsaxe

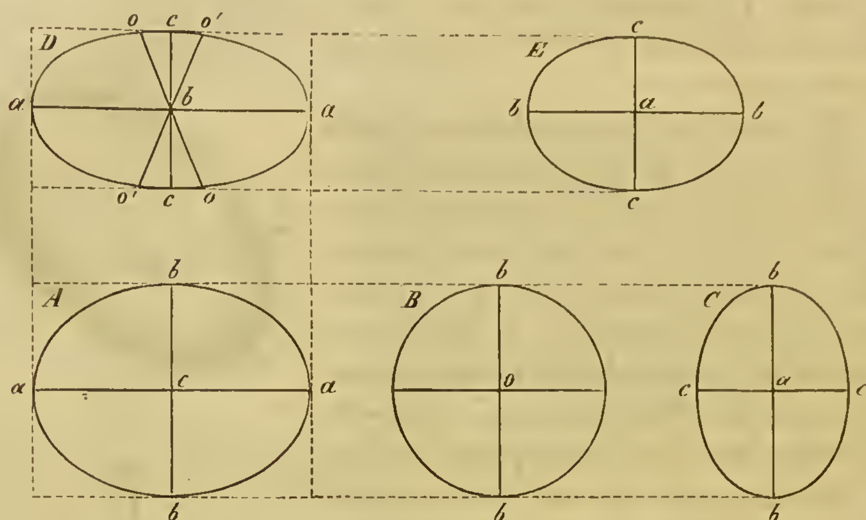


Fig. 167.

ist, die constante Länge bb, indess die andere nach und nach alle Werthe zwischen aa und cc annimmt und nach einem halben Umlauf wieder gleich aa wird. In der Ebene der Kreisschnitte (kk und $k'k'$ in Fig. 163) sind natürlich beide Axen einander gleich (Fig. 167 *B*); darüber hinaus wird die quergestellte Axe kleiner als bb und nimmt continuirlich ab, bis sie endlich nach einer Drehung von 90° mit der Axe cc des Ellipsoids zusammenfällt (Fig. 167 *C*). Bei fortgesetzter Drehung wiederholen sich die möglichen Formen der Schnittfläche in umgekehrter Reihenfolge, bis aa zum zweiten Male in die Ebene des Gesichtsfeldes fällt. Hiemit sind die möglichen Stellungen des Ellipsoids erschöpft; denn da die beiden Scheitel gleichwerthig sind, so ist das Wiedererreichen der horizontalen Lage mit der Rückkehr zum Ausgangspunkte gleichbedeutend.

284 Die Lagen des Ellipsoids, in welchen die Kreisschnitte horizontal zu liegen kommen, verdienen nachträglich noch eine besondere Betrachtung. Die Elasticität des Aethers ist in diesen Lagen nach allen Richtungen im Gesichtsfelde gleich gross, ganz so, wie in einer isotropen Substanz. Dem entsprechend wird das von unten einfallende Licht auch nur einfach gebrochen und die Polarisation unterbleibt. Die Normalen auf den Kreisschnitten entsprechen hienach

den Richtungen, in welchen das Licht sich wie in einem einfach brechenden Medium bewegt; es sind diess die **optischen Axen**. Die Linie, welche ihren spitzen Winkel halbirt, heisst die **Mittellinie**; je nachdem dieselbe mit der grössten oder mit der kleinsten Axe unseres Ellipsoids zusammenfällt, pflegt man die Körper **optisch-positiv** oder **optisch-negativ** zu nennen.

Kehren wir jetzt zu unserer Ausgangsstellung (Fig. 167 A) zu- 285
rück, um von hier aus die Drehung um die Axe aa zu verfolgen. Wir stellen uns vor, das Ellipsoid werde auf der Papierfläche nach oben gerollt, so dass die Drehungsaxe nach einem Viertelumlauf mit aa in Fig. 167 D zusammenfällt. In dieser Lage steht offenbar bb senkrecht zur Papierfläche und die kleinste Axe cc wird optisch wirksam. Die Axen der Elasticitätsellipse sind also aa und cc. In unserer Figur sind hier auch die optischen Axen (oo und $o'o'$), weil sie in die Ebene der Zeichnung fallen, dargestellt. — Bei fortgesetzter Drehung würde natürlich die kleine Axe der Ellipse wieder zunehmen, bis sie nach einer halben Umdrehung zum zweiten Mal ihren Maximalwerth bb erreicht hätte.

Drehen wir endlich das Ellipsoid noch um die dritte Axe cc, so bildet offenbar cc die eine Axe der wirksamen Elasticitätsellipsen, welche den verschiedenen Stellungen entsprechen, indess die andere Axe nach und nach alle Werthe zwischen aa und bb annimmt. In unserer Figur ist die Ellipse dargestellt, die nach einer Drehung von 90^0 zur Wirkung kommt (Fig. 167 E).

Es erübrigt jetzt noch, die Drehung um eine Linie zu verfol- 286
gen, die mit keiner der drei Axen zusammenfällt. Wir stellen uns vor, das Ellipsoid sei vorerst um die Axe bb gedreht worden, bis es die in Fig. 165 dargestellte Neigung oder eine beliebige andere erreicht hatte, und beginnen nun, von dieser Stellung ausgehend, die Drehung um die Linie mn. Wir erhalten alsdann nach einer Drehung von 90^0 eine Elasticitätsellipse, deren grosse Axe aa und deren kleine cc ist (Fig. 168). Diese Elasticitätsellipse ist aber, je nachdem die Drehung in dieser oder jener Richtung erfolgte, verschieden orientirt; sie ist nach rechts geneigt (A), wenn man den oberen Scheitel in Fig. 165 unter die Papierebene sinken lässt, nach links dagegen (B), wenn man ihn aus der Papierebene heraushebt. Die Ellipsen, welche Drehungswinkeln zwischen 0 und 90^0 entsprechen, bilden mit Rücksicht auf Form und Stellung Uebergänge zwischen

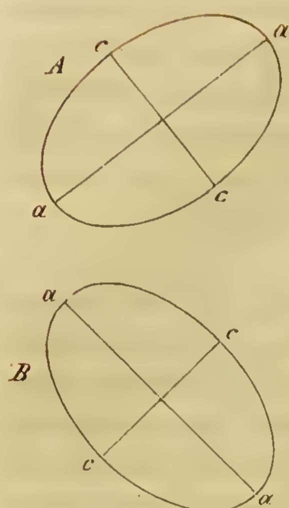


Fig. 168.

den beiden Endgliedern. Dem Winkel 0° entspricht aber offenbar eine Ellipse, welche so ⊂⊃ oder so 0 orientirt sein kann, je nachdem *mn* grösser oder kleiner als die mittlere Axe. Die Uebergänge werden also im ersten Fall beispielsweise in der Art stattfinden, dass sich die Ellipse mit ihrem rechten Scheitel hebt und dabei gleichzeitig verlängert (Fig. 169 *A, B, C*), während im zweiten Fall mit einer ähnlichen Streckung eine allmählich stärker werdende Neigung nach rechts verbunden ist (Fig. 170 *A, B, C*).

Ebenso leicht lassen sich die Schnittflächen bestimmen, welche beim Drehen um einen beliebigen anderen Durchmesser in der Ebene des Gesichtsfeldes wirksam werden. Man hat nur nöthig, die bekannte Ellipse der Ausgangsstellung mit der ebenfalls bekannten nach einer Drehung von 90° zu vergleichen; die Zwischenglieder bilden alsdann in Form und Stellung die Uebergänge.

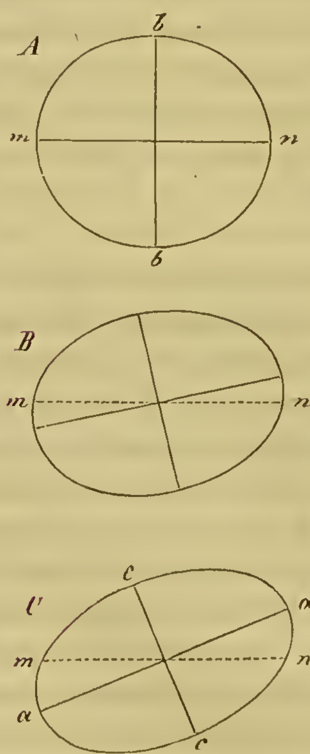


Fig. 169.

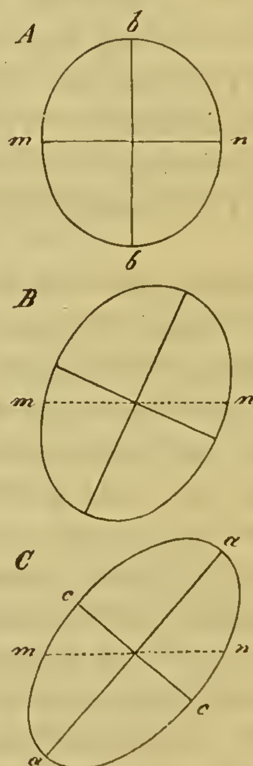


Fig. 170.

Die Axenrichtungen der wirksamen Elasticitätsellipsen bleiben überhaupt unverändert, wenn die Drehung um eine in der Ebene des Gesichtsfeldes liegende Hauptaxe des Ellipsoids erfolgt; sie erfahren dagegen eine stetige Veränderung, wenn ein beliebiger anderer Durchmesser oder eine geneigt stehende Axe die Drehungsaxe bildet. Der approximative Gang dieser Veränderung ist durch die bekannten oder doch leicht zu construirenden Schnittflächen bestimmt, welche nach einer Drehung von 90° wirksam werden.

Es unterliegt also, wie man aus dem Vorhergehenden entnehmen 287
wird, keiner Schwierigkeit, die Axenlage der Elasticitätsellipse für jede beliebige Neigung unseres Ellipsoids annähernd zu bestimmen und die während der Drehung erfolgenden Veränderungen in Betreff der Stellung und Excentricität, soweit nöthig, festzustellen. Mit der Axenlage sind aber auch die Polarisationsebenen der beiden Wellensysteme gegeben, und mit der Excentricität steigt und fällt auch der Phasenunterschied, welchen dieselben in einem Medium von bestimmter Dicke erlangen. Der Phasenunterschied bedingt aber bekanntlich die Interferenzfarbe, und so gelangen wir denn zu dem Schluss, dass sich das optische Verhalten eines doppelbrechenden Mediums, dessen Elasticitätsellipsoid gegeben ist, für jede beliebige Richtung der durchgehenden Lichtstrahlen zum Voraus bestimmen lässt.

Wir haben die vorstehenden Erörterungen absichtlich an den 288
allgemeinen Fall, dass die drei Axen des Elasticitätsellipsoids ungleich sind, angeknüpft, weil die besonderen Fälle, die man sich denken kann, eigentlich schon darin enthalten sind. Doch mag es nachträglich zur Vervollständigung des Gesagten nicht ganz überflüssig sein, auch diese besonderen Fälle in Kürze zu erwähnen. Denken wir uns zunächst, die Differenz zwischen der mittleren und der kleinsten Axe des Ellipsoids werde allmählich kleiner und zuletzt gleich Null, so nähern sich die beiden Kreisschnitte immer mehr der Ebene der genannten Axen, indem sie immer spitzere Winkel mit derselben bilden, und fallen endlich mit ihr zusammen. Die beiden optischen Axen bewegen sich folglich in entgegengesetzter Richtung; sie fallen, wenn sie die grösste Axe des Ellipsoids erreicht haben, in eine einzige optische Axe zusammen. Das brechende Medium wird dadurch optisch einaxig und zwar positiv, weil es auch im zweiaxigen Zustande, bevor der Axenwinkel = 0 wurde, der oben ge-

gebenen Definition gemäss, positiv war. — Lassen wir dagegen die mittlere Axe allmählich der grössten gleich werden, so fallen die optischen Axen zuletzt mit der kleinsten Axe des Ellipsoids zusammen und das negativ zweiaxige Medium wird negativ einaxig.

Die Elasticitätsfläche ist folglich in einaxigen Medien stets ein Rotationsellipsoid, und zwar fällt die Rotationsaxe bei optisch negativen mit dem kleinsten, bei optisch-positiven mit dem grössten Durchmesser zusammen. Die Schnittflächen eines solchen Ellipsoids sind natürlich im Allgemeinen ebenfalls Ellipsen und nur, wenn sie senkrecht auf der Rotationsaxe stehen, Kreise. Die Veränderungen der Stellung und der Excentricität, welche die optisch wirksame Ellipse während der Drehung des Ellipsoids erfährt, lassen sich hier, da die Aufgabe durch die Gleichheit zweier Axen bedeutend vereinfacht wird, so leicht übersehen, dass uns eine besondere Besprechung derselben überflüssig erscheint.

3. Bestimmung der Elasticitätsaxen.

289 Die Verwerthung der im Vorhergehenden entwickelten Abhängigkeit des optischen Verhaltens von der Lage und Form des Elasticitätsellipsoids beruht auf dem Princip der Reciprocität. Wenn es möglich ist, aus der Richtung und relativen Grösse der drei Axen den Gang der Erscheinungen, welche man beim Drehen um eine beliebige senkrechte oder wagrechte Axe beobachtet, zum Voraus zu bestimmen, so muss es umgekehrt auch möglich sein, aus den bekannten optischen Erscheinungen die Richtung und relative Grösse der Elasticitätsaxen abzuleiten und so das Elasticitätsellipsoid gleichsam in das brechende Medium hinein zu construiren. Darin besteht aber gerade die Aufgabe, die man sich bei Untersuchungen im polarisirten Licht zu stellen hat; mit ihrer Lösung ist der Zweck, um den es sich gewöhnlich handelt, vollständig erreicht *).

290 Wir haben uns also jetzt mit der Frage zu beschäftigen, wie die Bestimmung der Elasticitätsaxen praktisch ausführbar sei. Der Beobachter hat hiebei zweierlei Unbekannte ins Auge zu fassen, die wir desshalb auch gesondert betrachten wollen, nämlich die Richtungen

*) Weiter gehende Fragen, wie z. B. ob und wie eine ungleichmässige Quellung das Verhältniss der Elasticitätsaxen ändere, ob die Ursache der Doppelbrechung in den einzelnen Molekülen (Atomgruppen) organisirter Körper, oder in der Anordnung dieser Moleküle liege etc., kommen jedenfalls erst in zweiter Linie in Betracht und setzen die Lösung der bezeichneten Aufgabe voraus.

der Axen und die relativen Längen derselben. Was zunächst den ersten Punkt, die Axenrichtungen, betrifft, so bedarf es für Leser, welche die Polarisationserscheinungen aus physikalischen Lehrbüchern einigermassen kennen, eigentlich kaum einer Anleitung, da es sich hier bloss um die Anwendung der Fundamentalgesetze handelt. Jedenfalls können wir uns auf einige kurz gefasste Sätze beschränken.

1) Sind Polarisator und Analysator am Mikroskop so gestellt, dass sie sich rechtwinklig kreuzen, so ist bekanntlich das Gesichtsfeld dunkel. Ein doppelbrechendes Object erscheint alsdann ebenfalls dunkel, wenn die Axen der Elasticitätsellipse in die Polarisationsebenen der Nicols fallen, in jeder anderen Lage dagegen — wenn nicht zufällig ein Kreisschnitt des Ellipsoids der Fläche des Gesichtsfeldes parallel geht — mehr oder weniger erleuchtet und zwar am intensivsten, wenn sie um 45° von jenen Ebenen abweichen. Wir wollen diese letztere Stellung in der Folge als diagonale, erstere dagegen, in welcher das Object dunkel erscheint, als orthogonale Stellung bezeichnen. Es ist klar, dass jede dieser Stellungen die Axenrichtungen der Elasticitätsellipse bestimmt. Da jedoch die grösste Dunkelheit stets sicherer erkannt wird, als das grösste Licht, so verdient die orthogonale Stellung bei Winkelmessungen den Vorzug.

2) Um zu entscheiden, ob ein Object, das beim Drehen um eine verticale Axe dunkel bleibt, zu den einfach brechenden gehört, oder ob vielleicht gerade ein Kreisschnitt des Elasticitätsellipsoids optisch wirksam sei, hat man nur nöthig, die Beobachtung in verschiedenen andern Lagen des Objects, wie man sie durch Drehen um horizontale Axen erhält, zu wiederholen. Die Doppelbrechung muss sich alsdann kundgeben, wenn überhaupt eine solche stattfindet, freilich immer unter der Voraussetzung, dass die wirksame Schicht mächtig genug sei, um einen augenfälligen Effect hervorzurufen.

3) Ist das Object doppelbrechend und die Axenrichtung der wirksamen Elasticitätsellipse bekannt, so fragt es sich weiter, ob vielleicht die eine ihrer Axen oder beide zugleich Axen des Ellipsoids seien. Um diess zu erfahren, bringt man das Object in die diagonale Stellung und dreht es hierauf mittelst der oben (S. 306) beschriebenen Vorrichtung um die zu prüfende Axe und zwar successive nach entgegengesetzten Seiten. Finden hiebei die nämlichen Veränderungen statt, man mag nach dieser oder jener Seite hin drehen, d. h. beobachtet man bei gleichem Drehungswinkel in beiden Fällen denselben Farben-

wechsel, so ist die auf der Drehungsaxe senkrechte Richtung eine Axe des Ellipsoids. Man gelangt zu dieser Folgerung durch Umkehrung des Satzes, dass zwei Schnittflächen, welche mit einer Axe des Ellipsoids gleiche Winkel bilden, unter sich gleich sind. — In der orthogonalen Stellung gilt in allen Fällen, wo das Drehen eine Erhellung zur Folge hat, dieselbe Regel, und wenn das Gesichtsfeld dunkel bleibt, so ist die Drehungsaxe selbst eine Axe des Ellipsoids.

4) Sind dagegen die Veränderungen, welche man beim Drehen nach der einen und anderen Seite hin beobachtet, ungleich, so liegt keine der Axen des Ellipsoids in der Ebene des Gesichtsfeldes. Man wiederholt alsdann die nämliche Probe an anderen Schnittflächen und setzt die Beobachtungen so lange fort, bis man endlich eine Fläche gefunden hat, welche den oben erwähnten Bedingungen Genüge leistet.

5) Ist eine der Axen des Ellipsoids bestimmt, so liegen die beiden andern selbstverständlich in einer darauf senkrechten Schnittfläche. Man hat daher nur nöthig, diese Schnittfläche zur Wirkung zu bringen und deren Elasticitätsaxen, welche zugleich die Axen des Ellipsoids sind, in bekannter Weise zu bestimmen.

291 Zum Ueberfluss mögen hier noch ein paar Beispiele Platz finden, welche das Gesagte erläutern. Ein tafelartig entwickelter Gypskrystall (Fig. 171), an welchem die Abstumpfungsfläche der scharfen Säulenkanten die vorherrschende ist, erscheint im Polarisationsmikroskop bei gekreuzten Nicols dunkel, wenn die Richtungen *aa* und *cc* (erstere bildet mit den Seitenlinien einen Winkel von 50°) mit den Polarisationsebenen der Nicols parallel verlaufen, und folglich am hellsten, wenn dieselben in die diagonale Stellung gebracht werden. Diese Richtungen sind demnach die Axen der Elasticitätsellipse. Beim Drehen um die Axe *aa* sind die Veränderungen nach beiden Seiten hin gleich, ebenso beim Drehen um die Axe *cc*. Beides sind also zugleich Axen des Ellipsoids: die dritte Axe steht folglich senkrecht zur tafelartigen Fläche. — Dreht man den Krystall um die linke oder rechte Kante, so dass die dritte Axe in die Ebene des Gesichtsfeldes zu liegen kommt, so kann dieselbe in gleicher Weise als solche erkannt werden; die auf ihr senkrecht stehende Richtung im Gesichtsfelde

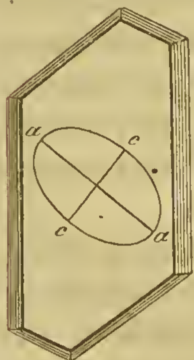


Fig. 171.

ist aber in diesem Falle keine Axe des Ellipsoids, was sich beim Drehen des Krystalls um seine Queraxe auch sogleich kundgiebt *).

Ganz ähnlich verhalten sich auch flache Membranen freier Pflanzenzellen. Die Axen der Elasticitätsellipsen, welche bei Flächenansichten wirksam sind, erweisen sich beim Drehen stets als Axen des Ellipsoids. Die vorkommenden Richtungsverschiedenheiten beziehen sich also nur auf die Lage derselben innerhalb einer Ebene, d. h. auf die Winkel, welche die Axen mit der Längs- und Querrichtung der Zelle bilden. Auf senkrecht zur Membranfläche geführten Schnitten verläuft dem entsprechend eine Axe der wirksamen Elasticitätsellipse in der Richtung der Schichten; die andere steht senkrecht darauf und ist zugleich Axe des Ellipsoids. — Von den Membranen der Gewebezellen gilt, soweit sie bekannt sind, dasselbe; allein die Beobachtung wird hier durch den Umstand erschwert, dass die beiden Lamellen, woraus die Scheidewände bestehen, eigentlich zwei Objecte darstellen, deren Elasticitätsaxen möglicher Weise sehr verschieden orientirt sind.

Der zweite Punkt, welcher bei Bestimmung des Elasticitäts- 292
ellipsoids in Betracht kommt, nämlich die *relative Grösse der Axen*, setzt unter Umständen schon eine weiter gehende Kenntniss der Polarisationserscheinungen voraus. Vor Allem ist nothwendig, dass der Beobachter die Scala der Interferenzfarben, welche bei allmählicher Zunahme des Gangunterschiedes zwischen den ordentlichen und ausserordentlichen Strahlen auftreten, wenigstens bis zur 3ten oder 4ten Ordnung aus eigener Anschauung kenne, und dass er über die Factoren, welche das Steigen oder Fallen der Farben verursachen, im Klaren sei. Diejenigen, welche diese Vorkenntnisse nicht besitzen, müssen wir daher zunächst auf die physikalischen Lehrbücher verweisen, da eine ausführliche Erörterung der betreffenden Erscheinungen uns hier zu weit führen würde. Wir halten es aber immerhin für unsere Aufgabe, die für das Verständniss wichtigeren Punkte in ihrem Zusammenhang vorzuführen und deren Beziehungen zum Elasticitätsellipsoid darzulegen.

*) Zu solchen Beobachtungen sind übrigens bloss schmale, fast nadelförmige Krystalle geeignet. Grössere Tafeln erscheinen in aufrechter Stellung weiss oder geben wenigstens zu hohe Interferenzfarben, als dass die Veränderungen, welche das Drehen um eine wagrechte Axe hervorruft, sich deutlich genug wahrnehmen liessen.

293 Ist AB (Fig. 172) ein in der Richtung der Pfeile comprimirtes Parallelepiped von Glas, z. B. das eine Ende eines Objectträgers, so hat dessen wirksame Elasticitätsellipse die in der Figur dargestellte Orientirung. Ein solcher Objectträger erscheint bei rechtwinkliger Kreuzung der Nicols am hellsten erleuchtet, wenn er mit den Polarisationsebenen derselben einen Winkel von 45° bildet und sich also in diagonaler Stellung befindet. Er erzeugt alsdann im weissen Licht eine Interferenzfarbe, welche bei gegebener Dicke um so höher steigt, je stärker der seitliche Druck, je grösser folglich die Excentricität der Ellipse. Gestattet die Einrichtung eine allmähliche Steigerung des Druckes, so bilden die resultirenden Farben eine Reihe, welche mit derjenigen der Newton'schen Ringe übereinstimmt. — Dieselbe Reihe wird natürlich auch zu Stande kommen, wenn man die Dicke des brechenden Mediums durch Aufeinanderlegen einer grösseren Zahl gleich stark, aber nur wenig comprimirter Glasplatten allmählich verstärkt; denn es ist einleuchtend, dass der Gangunterschied, den die unterste dieser Platten hervorruft, durch jede folgende um eine gleiche Grösse gesteigert wird. Ebenso erklärt sich auch die Wirkung eines Keils: die allmählich steigende Dicke ruft hier die Farben in ihrer natürlichen Reihenfolge neben einander hervor.

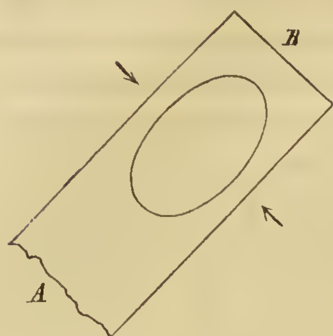


Fig. 172.

Wir gelangen also, da sich die krystallinischen Medien auch in dieser Beziehung ähnlich verhalten wie das comprimirte Glas, zu dem allgemeinen Gesetz, dass die Interferenzfarbe mit der Excentricität der wirksamen Ellipse und mit der Mächtigkeit des brechenden Mediums steigt und fällt.

294 Da die Farben der höheren Ordnungen sich bloss in rothen und grünen Tönen bewegen, die um so blasser werden, je mehr sie steigen, und sich daher immer undeutlicher von einander abstufen, so haben für die mikroskopische Beobachtung die drei ersten Ordnungen eine hervorragende Bedeutung und verdienen daher auch ein genaueres Studium. Aus diesem Grunde zählen wir nachstehend die unterscheidbaren Nuancen der tieferen Farben mit etwas grösserer Vollständigkeit auf, als es gewöhnlich in physikalischen Lehrbüchern geschicht. In der zweiten Columne sind überdiess für jede Ordnung

die complementären Farben, welche den Newton'schen Ringen im durchgelassenen Lichte entsprechen, angegeben.

Erste Ordnung.		Zweite Ordnung.	
Schwarz	Lebhaftweiss	Purpurroth	Hellgrün
Eisengrau	Weiss	Violett	Grünlichgelb
Graublau	Gelblichweiss	Indigo	Lebhaftgelb
Heller graublau	Gelbbräunlich	Blau	Orange
Hellbläulich	Gelbbraun	Blaugrünlich	Orangebraun
Grünlichweiss	Braunroth	Grün	Hellcarminroth
Weiss	Rothviolett	Hellergrün	Purpurroth
Gelblichweiss	Violett	Gelblichgrün	Purpurviolett
Gelb	Hellindigo	Grünlichgelb	Violett
Braungelb	Graublau	Reingelb	Indigo
Bräunlich orange	Blau	Orange	Dunkelblau
Rothorange	Blaugrün	Lebhaft Orangeroth	Grünlichblau
Roth	Blassgrün	Dunkel Rothviolett	Grün
Dunkelroth	Gelbgrün		

Dritte Ordnung.		Vierte Ordnung.	
Violett	Grünlichgelb	Hellviolett	Hellgrünlichgelb
Blau	Gelborange	Bläulichgrün	Hellrosa
Grün	Roth	Grün	Hellroth
Gelb	Violett	Hellgrünlichgelb	Lila
Rosenroth	Grünlichblau	Hellgelblichroth	Hellgrünlichblau
Roth	Grün	Hellroth	Hellgrün

Fünfte Ordnung.		Sechste Ordnung.	
Hellblau	Hellrosa	Hellblau	Hellrosa
Hellgrün	Hellroth	Sehr hellgrün	Hellroth
Weisslich	Weisslich	Weisslich	Weisslich
Hellroth	Hellgrün	Sehr hellroth	Hellgrünlich

Legt man zwei doppelbrechende Platten von gleicher Dicke und 295
mit gleicher wirksamer Elasticitätsellipse so über einander, dass sie sich rechtwinklig kreuzen (Fig. 173), so verhalten sie sich wie ein einfach brechendes Medium. Die Lichtschwingungen, welche in der untern Platte parallel der grösseren Axe stattfinden, fallen nämlich in der oberen mit der Ebene der kleinen Axe zusammen und umgekehrt. Das Verhältniss der Geschwindigkeiten, mit welchen die beiden Wellensysteme die untere Platte durchsetzen, wird folglich beim Eintritt in die obere umgekehrt, der erlangte Phasenunterschied also während des Durchgangs wieder ausgeglichen. Wäre die eine Platte um

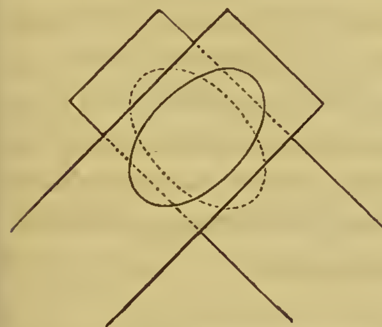


Fig. 173.

die Grösse *d* dicker als die andere, so müsste die Gesammtwirkung offenbar dieselbe sein, wie wenn eine Lamelle von der Dicke *d* für sich allein beobachtet würde.

Dasselbe Raisonnement lässt sich auch auf Platten von beliebiger Dicke und beliebiger Elasticitätsellipse anwenden. Die Wirkungen werden sich immer addiren, wenn die beiden Ellipsen gleich orientirt sind, und theilweise oder gänzlich aufheben, wenn die Ellipsen sich rechtwinklig kreuzen. Nehmen wir z. B. an, die Interferenzfarbe der einen Platte sei Roth der ersten Ordnung, die der andern Gelb der ersten Ordnung (natürlich immer unter der Voraussetzung, dass die Stellung eine diagonale sei), so erhält man als Gesammtwirkung beider für die Additionslage eine Farbe der zweiten Ordnung (Gelb II) und für die Subtractionslage eine Farbe der ersten Ordnung (Hellbläulich I), welche um eine dem Gelb entsprechende Stufenzahl tiefer steht als Roth.

296 Wir werden weiterhin auf diese Additions- und Subtractionsfarben zurückkommen und dieselben für eine Reihe von Combinationen, wie sie in der Praxis gewöhnlich vorkommen, zusammenstellen; hier handelt es sich nur darum, sie zur Bestimmung der relativen Grösse der Elasticitätsaxen zu verwerthen, und hiezu genügen die erwähnten Thatsachen vollkommen. Es ist einleuchtend, dass die Vergleichung eines beliebigen Mediums mit einer comprimirten Glasplatte, deren Elasticitätsellipse bekannt ist, ein sehr einfaches Mittel darbieten muss, das unbekannte Elasticitätsellipsoid richtig zu orientiren. Bezeichnen wir die drei Axen desselben, deren Richtungen wir als bekannt voraussetzen, mit *a*, *b* und *c*, so hat man nur nöthig, die durch *a b* gelegte Schnittfläche mit der Glasplatte zu combiniren; die Lage, in welcher Addition oder Subtraction stattfindet, entscheidet alsdann, ob *a* oder *b* grösser sei. In derselben Weise bestimmt man auf Schnittflächen, die parallel *bc* geführt sind, das Verhältniss von *b* zu *c*, und auf anderen durch *ac* geführten das Verhältniss von *a* zu *c*. Damit ist die Aufgabe, soweit es nach diesem Verfahren möglich ist, gelöst; man weiss, welche Richtung der kleinsten, mittleren und grössten Elasticität entspricht.

297 Die bereits oben angeführten Beispiele mögen auch hier zur näheren Erläuterung dienen. Wird der tafelartig entwickelte Gypskrystall (Fig. 174) so auf die comprimirte Glasplatte gelegt, dass die Richtung *a a* der grösseren Elasticitätsaxe im Glase parallel geht,

so beobachtet man ein Steigen der Interferenzfarbe: die Wirkungen der beiden Medien addiren sich. Dreht man dagegen um 90°, so findet Subtraction statt und die Interferenzfarbe fällt. Von den zwei Axen des Ellipsoids, welche den Richtungen *a a* und *c c* parallel gehen, ist hienach die letztere kleiner als die erste. — Was nun noch die dritte senkrecht stehende Axe betrifft, so ist die Bestimmung derselben mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Aus der unsymmetrischen Lage der Axen *a a* und *c c* geht zwar hervor, dass der Krystall ein zweiaxiger ist, was die Gleichheit der dritten Axe mit einer der bereits bestimmten ausschliesst; allein es bleibt immer noch zu untersuchen, ob dieselbe die grösste, oder die kleinste oder die mittlere Axe sei. Da nun Schnitte durch den Krystall in der Richtung der Hauptebenen nicht herstellbar sind, so bildet das Drehen um die beiden horizontalen Axen die einzige hier anwendbare Prüfungsmethode. Der Beobachter hat sich hiebei an folgende theoretische Folgerungen zu halten. 1) Ist die dritte Axe die **grösste**, so muss beim Drehen um *a a* eine Stellung erreicht werden, in welcher eine optische Axe die Richtung des durchgehenden Lichtes hat. Die Interferenzfarben müssen also rasch fallen, in der bezeichneten Stellung in Schwarz übergehen und bei weiterer Drehung wieder steigen. 2) Ist die dritte Axe die **kleinste**, so müssen die nämlichen Veränderungen beim Drehen um *c c* eintreten. 3) Ist die dritte Axe die **mittlere**, so kann die Farbe in keinem Fall auf Schwarz heruntersinken. Die wirksame Elasticitätsellipse wird zwar beim Drehen um *a a* sowohl als um *c c* weniger excentrisch, jedoch ohne den Kreis jemals zu erreichen. Da nun der längere Weg, den die Lichtstrahlen in der geneigten Krystalltafel durchlaufen, andererseits den Gangunterschied verstärkt, so kann dieser Einfluss unter Umständen vorwiegend werden und trotz der geringeren Excentricität der Ellipse ein Steigen der Farbe verursachen.

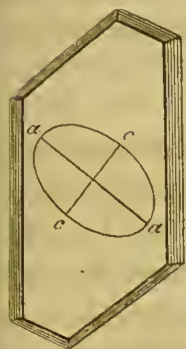


Fig. 174.

Die Beobachtung ergibt nun, dass die Farbe eines Gypskrystalls (Gypsplättchens) beim Drehen um *a a* steigt und beim Drehen um *c c* fällt. Dieser letztere Umstand beweist, dass die dritte Axe jedenfalls nicht die grösste sein kann; aber ob sie die kleinste oder die mittlere sei, lässt sich aus dem ganzen Verhalten kaum mit Sicherheit entnehmen, da die Neigung der durchgehenden Strahlen in Folge der Brechung an der Oberfläche nur bis zu einer gewissen Grenze gesteigert

werden kann, die Richtung der optischen Axen also möglicher Weise nicht erreicht wird. Man müsste die Drehung in einem annähernd gleich dichten Medium, z. B. in Oel, ausführen und überdiess das Steigen und Fallen der Farbe genauer studiren, um hierüber Gewissheit zu erlangen.*)

298 Viel einfacher gestaltet sich die Aufgabe bei flachen Membranen, wie überhaupt bei Objecten, die sich in beliebiger Richtung durchschneiden lassen. Sind hier zwei von den drei Axen bekannt, so wird ihr Verhältniss zur dritten Axe auf Durchschnitten, welche parallel den entsprechenden Hauptebenen geführt wurden, direct bestimmt. Ist z. B. *abcd* (Fig. 175) die Elasticitätsellipse eines flachen Membranstückes und zeigt ein parallel *cd* geführter Querschnitt, dass die dritte Axe kleiner als *cd*, so ist sie natürlich die kleinste Axe des Ellipsoids. Wäre sie grösser, so müsste das Verhältniss zu *ab* entscheiden, ob sie die grösste oder die mittlere sei.

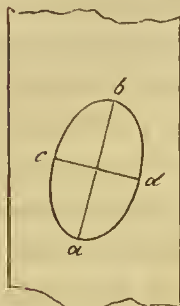


Fig. 175.

299 Mit der relativen Grösse der Elasticitätsaxen ist zugleich, wie bereits bemerkt, die Ebene der optischen Axen gegeben, da dieselbe stets durch die grösste und die kleinste Elasticitätsaxe geht. Eine planplane Platte, welche parallel der mittleren Axe geschnitten ist, muss folglich beim Drehen um diese Axe zweimal in eine solche

*) Dreht man einen einaxigen Krystall von geeigneter Form um die horizontal gestellte optische Axe, so bleibt die Elasticitätsellipse unverändert und das Steigen der Farbe rührt bloss von der Verlängerung des Weges in Folge der Neigung her. Die Vergleichung dieser Farbenänderung mit derjenigen eines unbekannten Krystalls muss folglich herausstellen, ob der Gangunterschied bei letzterem in stärkerem oder schwächerem Verhältniss wächst, womit zugleich entschieden ist, ob die Excentricität der Elasticitätsellipse während der Drehung zu- oder abnimmt. Für den Gyps erhält man auf diese Weise mit ziemlicher Sicherheit das Ergebniss, dass die dritte Axe die mittlere ist. Im Allgemeinen fallen indess die Resultate der Beobachtung zu unbestimmt aus, als dass ein näheres Eingehen auf diese und ähnliche theoretische Folgerungen gerechtfertigt erschiene.

Aus dem Vorstehenden erhellt übrigens zur Genüge, dass die Folgerungen, welche Valentin (die Untersuchung der Pflanzen- und der Thiergewebe im polarisirten Licht. S. 144) aus dem erwähnten Steigen und Fallen der Farbe bei Gypsplättchen zieht, durchaus unrichtig sind. Er sagt nämlich, die Ebene der optischen Axen entspreche »daher« der diagonalen Richtung + 45° (die in unserer Figur mit *cc* bezeichnet ist), während sie in Wirklichkeit mit der Ebene des Plättchens zusammenfällt.

Lage kommen, dass die von unten einfallenden Strahlen sie in der Richtung einer optischen Axe durchsetzen; sie muss sich alsdann wie ein einfach brechendes Medium verhalten und bei gekreuzten Nicols schwarz erscheinen. Man hat also nur nöthig, die diesen Lagen entsprechenden Neigungen der Platte zu messen und dabei die Ablenkung an den Grenzflächen der Platte zu berücksichtigen, um den Winkel, den die optischen Axen unter sich bilden, annähernd zu bestimmen. Fallen auch solche Bestimmungen nicht gerade genau aus, so ist es doch in der Regel möglich zu entscheiden, ob das Object positiv oder negativ sei.

Um in der Deutung der resultirenden Interferenzfarben nicht irre **300**
zu gehen, ist es immer rathsam, die Additions- und die Subtractionslage genau mit einander zu vergleichen. War die Deutung richtig, so muss die Subtraction eine Farbe ergeben, welche gegen die höhere der beiden combinirten Farben um eben so viel zurücksteht, als diese gegen die Additionsfarbe. Combinirt man z. B. Blau II mit Gelb I, so erhält man in der einen Lage ein Roth, welches der Geübtere als Roth II erkennt, in der andern ein Gelb, das mit Gelb I übereinstimmt. In der Farbenscala stehen auch in der That Roth II und Gelb I ungefähr gleich weit von Blau II ab, und die Wiederholung der Combination mit bekannten Gypsplättchen liefert vollends den Beweis, dass Blau II und Gelb I in der Additions- und Subtractionslage die oben erwähnten Farben geben.

Da eine solche Wiederholung der Combination stets die beste Controle gewährt, so lassen wir hier noch zwei Tabellen folgen, in welchen die Additions- und Subtractionsfarben für eine Reihe von Fällen zusammengestellt sind. Die Benennungen gründen sich für die drei ersten Ordnungen auf die Eintheilung derselben in je 6 Farben, deren Abstände auf einem keilförmig geschliffenen Krystall ungefähr gleich sind. Bezeichnet man also die Farben der ersten Ordnung mit 1—6, die der zweiten mit 7—12 u. s. f., so lässt sich eine beliebige Combinationsfarbe durch Addition oder Subtraction der entsprechenden Ziffern zum Voraus bestimmen, wodurch jedenfalls die rasche und sichere Deutung der beobachteten Farbe wesentlich erleichtert wird. Die Farben 6 (Roth I) und 3 (Weiss I) geben z. B. in der Additionslage $6 + 3 = 9$ (Grün II) und in der Subtractionslage $6 - 3 = 3$ (Weiss I). Wir bemerken übrigens, dass die Farben der käuflichen Gypsplättchen den eingebildeten Abstufungen nicht immer genau entsprechen und dass oft die gleichnamigen Nummern

derselben Fabrik einen merklich abweichenden Farbenton hervorrufen.

Die zweite Tabelle gewinnt durch den Umstand, dass ein Gypsplättchen, welches Roth I gibt, das Steigen und Fallen der Farbe in der Regel am leichtesten erkennen lässt, einen besonderen praktischen Werth.

Erste Tabelle.

Combinirte Farben		Additions-Farbe	Subtractions-Farbe
Grau I	Grau I	Hellbläulich I	Schwarz
Hellbläulich I	Grau I	Weiss I	Grau I
—	Hellbläulich I	Gelb I	Schwarz
Weiss I	Grau I	Gelb I	Hellbläulich I
—	Hellbläulich I	Orange I	Grau I
—	Weiss I	Roth I	Schwarz
Gelb I	Grau I	Orange I	Weiss I.
—	Hellbläulich I	Roth I	Hellbläulich I
—	Weiss I	Indigo II	Grau I
—	Gelb I	Blau II	Schwarz
Orange I	Grau I	Roth I	Gelb I
—	Hellbläulich I	Indigo II	Weiss I
—	Weiss I	Blau II	Hellbläulich I
—	Gelb I	Grün II	Grau I
—	Orange I	Gelb II	Schwarz
Roth I	Grau I	Indigo II	Orange I
—	Hellbläulich I	Blau II	Gelb I
—	Weiss I	Grün II	Weiss I
—	Gelb I	Gelb II	Hellbläulich I
—	Orange I	Orange II	Grau I
—	Roth I	Roth II	Schwarz
Indigo II	Grau I	Blau II	Roth I
—	Hellbläulich I	Grün II	Orange I
—	Weiss I	Gelb II	Gelb I
—	Gelb I	Orange II	Weiss I
—	Orange I	Roth II	Hellbläulich I
—	Roth I	Violett III	Grau I
—	Indigo II	Blau III	Schwarz
Blau II	Grau I	Grün II	Indigo II
—	Hellbläulich I	Gelb II	Roth I
—	Weiss I	Orange II	Orange I
—	Gelb I	Roth II	Gelb I
—	Orange I	Violett III	Weiss I
—	Roth I	Blau III	Hellbläulich I
—	Indigo II	Grün III	Grau I
—	Blau II	Gelb III	Schwarz
Grün II	Grau I	Gelb II	Blau II
—	Hellbläulich I	Orange II	Indigo II
—	Weiss I	Roth II	Roth I
—	Gelb I	Violett III	Orange I
—	Orange I	Blau III	Gelb I
—	Roth I	Grün III	Weiss I
—	Indigo II	Gelb III	Hellbläulich I
—	Blau II	Rosa III	Grau I
—	Grün II	Roth III	Schwarz
Gelb II	Grau I	Orange II	Grün II

Combinirte Farben		Additions-Farbe	Subtractions-Farbe
Gelb II	Hellbläulich I	Roth II	Blau II
—	Weiss I	Violett III	Indigo II
—	Gelb I	Blau III	Roth I
—	Orange I	Grün III	Orange I
—	Roth I	Gelb III	Gelb I
—	Indigo II	Rosa III	Weiss I
—	Blau II	Roth III	Hellbläulich I
—	Grün II	Bläulichgrün IV	Grau I
—	Gelb II	Grün IV	Schwarz
Orange I	Grau I	Roth II	Gelb II
—	Hellbläulich I	Indigo III	Grün II
—	Weiss I	Blau III	Blau II
—	Gelb I	Grün III	Indigo II
—	Orange I	Gelb III	Roth I
—	Roth I	Orange III	Orange I
—	Indigo II	Roth III	Gelb I
—	Blau II	Violett IV	Weiss I
—	Grün II	Blau IV	Hellblau I
—	Gelb II	Grün IV	Grau I
—	Orange II	Grün IV	Schwarz
Roth II	Grau I	Violett III	Orange II
—	Hellbläulich I	Blau III	Gelb II
—	Weiss I	Grün III	Grün II
—	Gelb I	Gelb III	Blau II
—	Orange I	Rosa III	Indigo II
—	Roth I	Roth III	Roth I

Zweite Tabelle.

Object ohne Gypsplättchen	Combinirt mit Gypsplättchen Roth I	
	Additionsfarbe	Subtractionsfarbe
Grau I	Indigo II	Orange I
Hellbläulich I	Blau II	Gelb I
Weiss I	Grün II	Weiss I
Gelb I	Gelb II	Hellbläulich I
Orange I	Orange II	Grau I
Roth I	Roth II	Schwarz
Indigo II	Violett III	Grau I
Blau II	Blau III	Hellbläulich I
Grün II	Grün III	Weiss I
Gelb II	Gelb III	Gelb I
Orange II	Rosa III	Orange I
Roth II	Roth III	Roth I
Violett III	Hellrothviolett IV	Indigo II
Blau III	Bläulichgrün IV	Blau II
Grün III	Grün IV	Grün II
Gelb III	Hellgrünlich IV	Gelb II
Rosa III	Hellrosa IV	Orange II
Roth III	Hellroth IV	Roth II
Hellviolett IV	Hellroth IV	Violett III
Bläulichgrün IV	Hellviolettroth V	Blau III
Grün IV	Hellblau V	Grün III

III.

Das Verhalten zweier übereinander liegender krystallähnlicher Körper, deren Schwingungsebenen sich schiefwinklig kreuzen.

301 Die bisherigen Betrachtungen finden in allen Fällen, wo das Untersuchungsobject ein krystallähnliches Medium darstellt, unmittelbare Anwendung; sie genügen also auch für flache Membranstücke und andere organisirte Gebilde, die sich wie Krystalle verhalten. In der Praxis ist es nun aber nicht immer möglich, die zu untersuchenden Gegenstände so zu präpariren, dass der optisch wirksame Theil jener Bedingung genügt, d. h. die Vergleichung mit einem einfachen Krystall rechtfertigt. Handelt es sich z. B. um horizontal liegende kleine Zellen oder Fasern, welche aus concentrischen Molecularschichten bestehen, deren Elasticitätsellipsen schief gegen die Längsrichtung der Zelle orientirt sind, so wirken zwar die in der Medianzone liegenden Stücke der Wandungen einzeln wie einfache Krystalle; allein man müsste die Fasern offenbar erst spalten, um diese Wirkungen gesondert beobachten zu können, und eine solche Spaltung ist in manchen Fällen nicht ausführbar. Ganz dasselbe gilt auch von mässig verdickten Membranen, welche die Scheidewände zwischen benachbarten Zellen bilden und daher als aus zwei Lamellen zusammengesetzt zu betrachten sind. Denn da die Verdickungen solcher Membranen (man denke an Spiralfasern, schiefgestellte Poren etc.) in der Regel ungleich orientirt sind, was auf eine entsprechende Lage der Molecularreihen deutet, so fallen voraussichtlich auch die Elasticitätsaxen der beiden Lamellen nicht in die nämliche Ebene.

Der Beobachter hat es also nicht selten mit zwei untrennbaren übereinander liegenden Medien zu thun, deren Elasticitätsaxen sich unter beliebigen Winkeln kreuzen. Er stösst somit auf ein neues Problem, welches augenscheinlich grössere Verwicklungen darbietet als das vorhergehende, und es fragt sich erst, ob dasselbe einer Lösung im nämlichen Sinne überhaupt fähig sei. Wir wollen es versuchen, diese Frage auf experimentellem Wege zu erledigen.

302 Seien *A B* und *CD* (Fig. 176) die Elasticitätsellipsen der beiden übereinander liegenden Körper und *e* der (veränderlich gedachte) Winkel zwischen ihren grösseren Axen. Die Einstellung werde stets

so gewählt, dass die Halbirungslinie *mn* jenes Winkels unter 45° gegen die gekreuzten Nicols orientirt bleibt. Diess vorausgesetzt, erhält man für die verschiedenen Werthe von *e* erfahrungsgemäss folgende Wirkungen. Ist *e* sehr klein, so verstärken sich die Wirkungen der beiden Körper fast so, als ob dieselben in der Additionslage, wo $e = o$, beobachtet würden: die resultirende Farbe erfährt bis zu einer Winkelgrösse von mehreren Graden keine erhebliche Veränderung. Bei weitergehender Zunahme von *e* erfolgt jedoch bald ein entschiedenes Fallen der Interferenzfarbe, das sich namentlich bis zu dem mittleren Werth von 45° durch eine deutliche Aenderung des Farbentons ausspricht. Von da an bleibt zwar die Farbe annähernd dieselbe; das Gesichtsfeld verfinstert sich aber immer mehr, bis endlich bei einem Winkel von 90° vollständige Dunkelheit oder doch wenigstens — wenn nämlich die beiden Körper nicht genau gleich sind — die grösste Verfinsterung eintritt. Der Uebergang aus einem Farbenton in den andern geschieht allerdings in etwas anderer Weise als bei der Newton'schen Reihe, meistens so, als ob die beiden Farben in immer wechselndem Verhältniss mit einander vermischt würden; doch lässt sich das Steigen oder Fallen der Farbe in der grossen Mehrzahl der Fälle keineswegs verkennen.

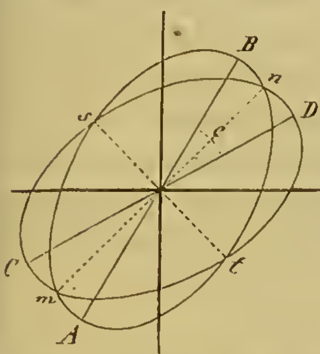


Fig. 176.

Legt man z. B. zwei Gypsplättchen, von denen jedes Blassbläu- 303
lich der ersten Ordnung gibt, in der angegebenen Weise auf einander, so erhält man für $e = o$ Gelb I, für $e = 22\frac{1}{2}°$ Hellgelb, für $e = 45°$ Weiss, endlich für $e = 67\frac{1}{2}°$ Bläulichweiss. Diese Farben entsprechen offenbar nur solchen Tönen, welche rückwärts auf Gelb I folgen. Einige weitere Beispiele sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Zwei Gypsplättchen	$e = o$	$e = 22\frac{1}{2}°$	$e = 45°$	$e = 67\frac{1}{2}°$
Grau I	Hellbläulich	Weniger hell bläulich	Bläulich	Dunkelbläulich
Hellbläulich I	Gelb	Hellgelb	Weiss	Bläulichweiss
Weiss I	Violett	Hellviolett	Weiss	Gelblichweiss
Gelb I	Blau	Hellgrünlich	Gelborange	Gelb
Orange I	Gelb	Gelb	Dunklergelb	Dunkelgelb
Roth I	Roth	Roth	Dunklerroth	Dunkelroth
Blau II	Grünlichgelb	Blaugrün	Blau	Blau
Grün II	Roth	Weiss	Grün	Dunklergrün
Gelb II	Grün	Gelb	Dunklergelb	Dunkelgelb

Wie man aus dieser Zusammenstellung ersieht, stimmt die Farbe, welche man in der Stellung $e = 45^{\circ}$ erhält, mit derjenigen der einzelnen Platte durchgehends so ziemlich überein, oder steht ihr wenigstens sehr nahe. Man kann somit — da die Additionsfarbe für die Stellung $e = o$ nach Früherem ebenfalls als gegeben zu betrachten ist — zum Voraus die Veränderungen bestimmen, welche die allmähliche Zunahme von e bei einem beliebigen Plattenpaar hervorruft. Diese Veränderungen bestehen immer in einem allmählichen, aber directen Uebergang der Additionsfarbe in die Farbe der einzelnen Platte.

304 Es erübrigt jetzt noch, die Wirkung eines festverbundenen Plattenpaars mit derjenigen eines Gypsplättchens oder überhaupt eines dritten doppelbrechenden Körpers zu combiniren. Wir haben gesehen, dass das Plattenpaar für sich allein gewissermaassen wie ein einzelner Körper wirkt, dessen Elasticitätsellipse sich um so mehr dem Kreise nähert, je grösser der Winkel e. Stellt man sich vor, die Axen dieser Ellipse seien die Verbindungslinien der Punkte mn und st (Fig. 177), in welchen die den beiden Platten entsprechenden Ellipsen sich schneiden, so entspricht diese Vorstellung insofern der Wirklichkeit, als der Unterschied zwischen der grossen Axe mn und der kleinen st in Uebereinstimmung mit der Interferenzfarbe continuirlich sinkt, wenn e sich vergrössert, und endlich Null wird, wenn $e = 90^{\circ}$; sie entspricht daher voraussichtlich auch der Gesammtwirkung eines Plattenpaars und eines Gypsplättchens. Die Lage, in welcher die eingebildete Elasticitätsellipse mit derjenigen des Gypsplättchens gleiche Orientirung hat, wird auch hier eine Additionsfarbe, diejenige dagegen, in welcher die homologen Axen sich rechtwinklig kreuzen, eine Subtractionsfarbe hervorrufen. So verhält es sich denn auch in der That, wie man aus folgender Zusammenstellung entnehmen wird.

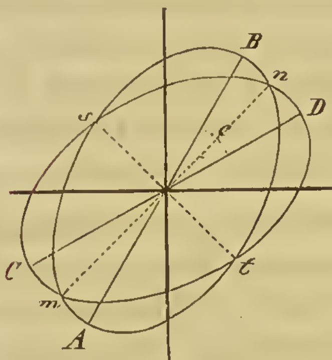


Fig. 177.

Zwei Krystallplatten	Winkel e	Mit Gypsplättchen Roth I	
		Additionsfarbe	Subtractionsfarbe
Schwärzlichgrau I	0 $22\frac{1}{2}^0$ 45^0 $67\frac{1}{2}^0$	Indigoviolett II Violett Röthlichviolett Rothviolett	Orange I Röthlichorange Rothorange Dunkelrothorange
Grau I	0 $22\frac{1}{2}^0$ 45^0 $67\frac{1}{2}^0$	Blaugrün II Grünlichblau Blau Indigo	Hellgelb I Orangegelb Orange Röthlichorange
Hellbläulich I	0 $22\frac{1}{2}^0$ 45^0 $67\frac{1}{2}^0$	Gelb II Grüngelb Hellgrün Hellgrünlichblau	Hellbläulich I Weiss Gelblichweiss Hellröthlichorange
Weiss I	0 $22\frac{1}{2}^0$ 45^0 $67\frac{1}{2}^0$	Roth II Hellrothorange Grünlichgelb Grünlichweiss	Schwarz Grünlich Grünlichweiss Weiss
Gelb I	0 $22\frac{1}{2}^0$ 45^0 $67\frac{1}{2}^0$	Blaugrün III Grün Gelb Orange	Weiss I Weiss Weiss Bläulichlila
Orange I	0 $22\frac{1}{2}^0$ 45^0 $67\frac{1}{2}^0$	Hellgelb Gelborange Orange Rothorange	Gelb I Hellorange Weisslich Lila

Die Farbenübergänge stimmen natürlich auch hier nicht mit denen der Newton'schen Reihe überein, doch ist das Steigen und Fallen der Farbe bei zunehmendem e in der Regel deutlich ausgesprochen. Die höchste Additions- und die tiefste Subtractionsfarbe gibt selbstverständlich die Stellung $e = o$; wird $e = 90^0$, so erhält man in allen Lagen das Roth des Gypsplättchens. — In Fällen, wo der Farbenwechsel ausnahmsweise undeutlich ist, kann derselbe durch Anwendung eines andern Gypsplättchens, z. B. Grau I, deutlicher gemacht werden.

Dreht man das Plattenpaar, ohne den Winkel e zu ändern, auf 305
dem Gypsplättchen um eine verticale Axe, indem man es z. B. aus der Additionslage allmählich in die Subtractionslage überführt, so bemerkt man hiebei Farbenübergänge, welche weder mit der Newton'schen Reihe noch mit den Farben einer einzigen Platte in den ent-

sprechenden Stellungen übereinstimmen. Während die letztere beim Drehen auf einem Gypsplättchen Töne hervorruft, die sich auf der Palette durch Mischung der Additions- oder Subtractionsfarbe mit der Farbe des Gypsplättchens herstellen lassen, erzeugt das Plattenpaar einen Farbenwechsel complicirterer Art, der bis jetzt nur für die einfacheren Fälle bestimmt formulirt werden konnte. Die praktische Bedeutung, die diesem Farbenwechsel zukommt, erheischt aber dessenungeachtet eine ausführliche Erörterung.

Als durchgreifende Eigenthümlichkeit der Veränderungen, die man beim Drehen des Plattenpaars auf einem Gypsplättchen beobachtet, kann die Verschiedenheit der Farbe in den beiden orthogonalen Stellungen, wo die Halbirungslinie des Winkels e mit der Polarisationsebene des unteren oder des oberen Nicol zusammenfällt, bezeichnet werden. Diese Stellungen können in der That, wie man sich durch Veranschaulichung der drei wirksamen Elasticitätsellipsen in ihrer gegenseitigen Lage leicht überzeugen kann, unter keinen Umständen ganz gleichwerthig sein. Sind z. B. AA', BB' und CC' (Fig. 178) die Ellipsen des Gypsplättchens und der beiden übereinander liegenden Krystallplatten in ihrer Reihenfolge von unten nach oben, ferner PP und NN die senkrecht zu einander gestellten Polarisationsebenen der beiden Nicols; dann ist aus unserer Figur sogleich ersichtlich, dass in der hier dargestellten Lage die homologen Schwingungsebenen der Ellipsen auf einander folgen, wie die Stufen einer Wendeltreppe, indem die alphabetische Ordnung der Buchstaben ABC oder $A'B'C'$ zugleich der Reihenfolge der entsprechenden Axen in der Richtung einer linksläufigen Spirale entspricht. Diess ist die orthogonale Consecutivstellung. Denkt man sich dagegen das Plattenpaar um 90° gedreht (Fig. 179), so fällt CC' zwischen BB'

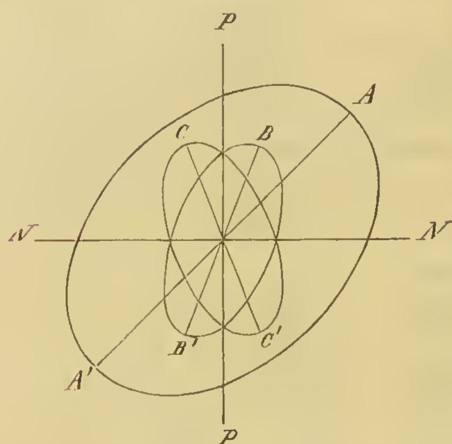


Fig. 178.

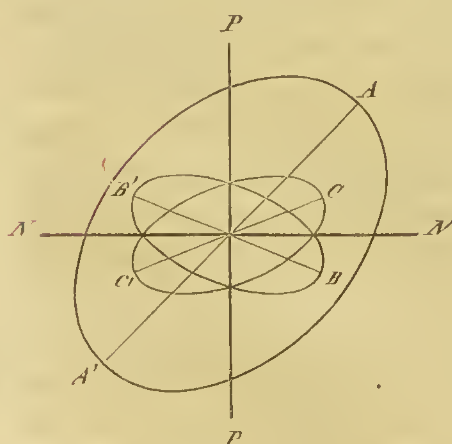


Fig. 179.

und AA'; die Ellipsenscheitel ABC oder $A'B'C'$ liegen also nicht mehr treppenförmig, sondern im Zickzack übereinander — eine Lage, die man im Gegensatz zur vorhergehenden als orthogonale Alternativstellung bezeichnet.

Die Verschiedenheit der Farben, die diese Stellungen hervorrufen, ist nun in vielen Fällen der Art, dass die Vergleichung derselben mit der Additions- und Subtractionsfarbe die erforderlichen Anhaltspunkte bietet, um eine gegebene orthogonale Stellung als Consecutiv- oder als Alternativstellung zu erkennen. Ist diess der Fall, so ergiebt sich hieraus unmittelbar die Beantwortung der Frage, wie die wirksame Elasticitätsellipse in der oberen und in der unteren Platte geneigt sei. Ist z. B. Fig. 180 als Consecutiv-, Fig. 181 als Alternativstellung erkannt worden, so weiss man, dass die Ellipse BB' der unteren, CC' der oberen Platte angehört.

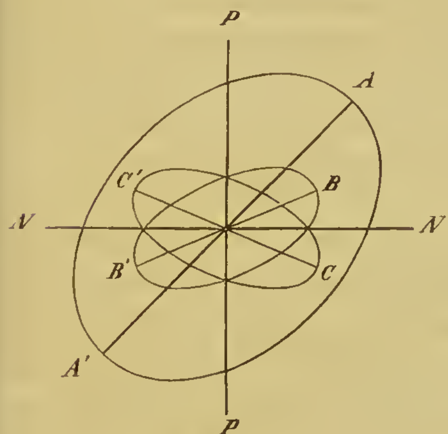


Fig. 180.

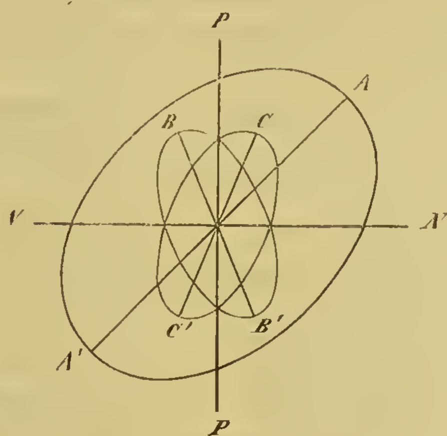


Fig. 181.

Zur Vergleichung der Farbentöne, um die es sich hier handelt, 306
mag folgende Uebersicht dienen, welche nach Beobachtungen an verschiedenen Plattenpaaren, die sich unter Winkeln von $22\frac{1}{2}°$, $45°$ und $67\frac{1}{2}°$ kreuzten, zusammengestellt ist. In der ersten Combinationsfolge bewegen sich die Additionsfarben in der zweiten Ordnung, d. h. es sind Farben, welche für $e = o$ in die zweite Ordnung der Newton'schen Reihe fallen. Die zweite Combinationsfolge bezieht sich dagegen auf Additionsfarben, welche der dritten Ordnung angehören. Das Gypsplättchen, auf welchem die Drehung ausgeführt wurde, war Roth I. Die Farbe der Consecutivstellung ist mit C., die der Alternativstellung mit A. bezeichnet.

Erste Combinationsfolge.

Additionsfarbe	Farben der orthogonalen Stellungen	Subtractionsfarbe
Rothviolett	C. Dunkelroth A. Hellroth	Dunkelrothorange
Röthlichviolett	C. Violettroth A. Orangeroth	Rothorange
Violett	C. Dunkelroth A. Hellroth	Röthlichorange
Indigo	C. Violettindigo A. Rothorange	Röthlichorange
Blau	C. Indigo A. Dunkelorange	Orange
Hellgrün	C. Blau A. Gelborange	Gelblichweiss
Grüngelb	C. Blauindigo A. Dunkelorange	Weiss

Zweite Combinationsfolge.

Additionsfarbe	Farben der orthogonalen Stellungen	Subtractionsfarbe
Grün	C. Rothorange A. Blauindigo	Weiss
Grünlichgelb	C. Grün A. Weiss	Grünlichweiss
Gelb	C. Orange A. Bläulichweiss	Weiss
Gelborange	C. Rothorange A. Dunkelindigo	Hellorange
Orange	C. Rothorange A. Helllila	Bläulichlila
Orange	C. Röthlichorange A. Violett	Weisslich
Rothorange	C. Rothorange A. Violettroth	Lila
Hellrothorange	C. Grünlich A. Hellroth	Grünlich

In dieser Uebersicht lässt nur die erste Combinationsfolge, wo jede Platte für sich allein weniger als Weiss I, beide zusammen für $e = o$ daher nicht ganz Roth I geben, eine gewisse Gesetzmässigkeit erkennen. Hier bleibt die Farbe der orthogonalen Consecutivstellung, wie diejenige der diagonalen Additionsstellung, immer über, die Farbe der Alternativ- und der Subtractionsstellung dagegen immer unter dem Roth des Gypsplättchens, indem »Dunkelroth« das Roth bezeichnet, welches den Uebergang zu Violett II bildet, »Hellroth« dagegen den Uebergang zu Rothorange.*)

*) Vgl. Nägeli, die Anwendung des Polarisationsmikroskops. Beiträge III. pag. 98.

Die zweite Combinationsfolge wird durch Paare von Platten erhalten, von denen jede für sich allein Weiss I oder eine höhere Farbe gibt. Die Farben der verschiedenen Stellungen sind hier an und für sich, da sie eines bestimmten additionalen oder subtractionalen Charakters entbehren, nicht zu einer Deutung geeignet.

Kehren wir jetzt das Problem um und fragen wir uns, welche 307
Anhaltspunkte die bereits entwickelten Beziehungen darbieten, um nach bekannten Polarisationsfarben die unbekannten Elasticitätsellipsen zweier über einander liegender Platten zu bestimmen. Zunächst ist klar, dass die Farben der stärksten Addition oder Subtraction, die man beim Drehen auf einem Gypsplättchen beobachtet, stets den beiden Stellungen entsprechen, die wir als diagonale Additions- und Subtractionsstellung bezeichnet haben; dass sie folglich Aufschluss darüber geben, wie der spitze Winkel e, den die grossen Axen der Elasticitätsellipsen unter sich bilden, orientirt sei. Die Halbirungslinie dieses Winkels ist also hiedurch bestimmt.

In zweiter Linie entscheidet die Beobachtung, ob die Farben der beiden orthogonalen Stellungen deutlich genug ausgeprägt sind, um hienach die Consecutiv- oder Alternativstellung als solche zu erkennen. Wo diess der Fall, ist die Lage der unteren und der oberen Elasticitätsellipse in dem oben bezeichneten Sinne bestimmt; wo es nicht der Fall, kann die Untersuchung in der Regel an kleineren Objecten derselben Art, welche eine beträchtlich tiefere Farbe erzeugen, wiederholt werden. Es gelingt auf diese Weise, bei den meisten organisirten Gebilden, die wie ein Plattenpaar wirken (Membranen, Fasern, Prosenchymzellen u. dgl.), einen Farbenwechsel zu erzielen, welcher unverkennbar der ersten Combinationsfolge in obiger Zusammenstellung angehört und daher eine sichere Deutung gestattet.

Die möglichen Lagen der Elasticitätsellipsen reduciren sich jetzt auf den Spielraum, den der spitze Winkel e noch übrig lässt. Um diesen Winkel zu bestimmen, kann man es versuchen, die Farben der beiden Lamellen auf senkrecht zur Flächenausdehnung geführten Schnitten gesondert zu beobachten, um allfällig aus dem Steigen und Fallen derselben beim Drehen nach verschiedenen Seiten einige weitere Schlüsse zu ziehen. In der Mehrzahl der Fälle wird man indess die Ueberzeugung gewinnen, dass dieser Theil des Problems unlösbar ist.

IV.

Das Verhalten cylindrischer und kugeliger Objecte mit concentrisch gruppirten anisotropen Elementen.

308 Ein ferneres Problem, das in der Praxis häufig vorkommt, ist die Bestimmung der Elasticitätsaxen in kugeligen oder cylindrischen Gebilden, deren Elemente in radialen Reihen um die Axe oder den Mittelpunkt liegen, wie diess bei Stärkekörnern, cylindrischen Fasern und Röhren etc. der Fall ist. Die Schwierigkeiten, die man hiebei zu überwinden hat, sind ähnlicher Natur, wie im vorhergehenden Falle; sie liegen in der Ungleichheit der Stellungen der doppelbrechenden Elemente zum durchgehenden Lichtstrahl und in der Verschiedenheit der Annahmen, die sich mit Rücksicht hierauf machen lassen. Der Gang der Untersuchung ist dadurch vorgeschrieben: es handelt sich darum, die denkbaren Möglichkeiten vor Allem klar ins Auge zu fassen und hierauf durch die Beobachtung auf einen möglichst engen Kreis zurückzuführen.

1. Cylindrische Objecte.

309 Der Name Cylinder und Hohlcylinder bezieht sich hier selbstverständlich nicht sowohl auf die äussere Form, als vielmehr auf die innere Structur, d. h. auf die Anordnung der doppelbrechenden Elemente. Wir setzen voraus, dass die Elemente des gleichen Radius hinsichtlich der Lage ihrer Schwingungsebenen und der Grösse der wirksamen Elasticitäten übereinstimmen, dass alle Radien, welche in einer durch die Axe gelegten Ebene liegen, einander gleich sind, und dass alle auf einem zur Axe rechtwinkligen Querschnitt befindlichen Radien sich so verhalten, als ob der nämliche Radius im Kreise herumgeführt würde.

Unter diesen Voraussetzungen bietet der Querschnitt durch den Cylinder die einfachste Combination, indem hier die Wirkungen der übereinander liegenden Elemente sich addiren, wie in einem einfachen Krystall, und überdiess die Stellungen der auf einem Radius wirksamen Elasticitätsellipsen unter sich übereinstimmen (Fig. 182). Der Gesammteffect ergiebt sich hieraus von selbst. Jeder Durchmesser des Querschnitts verhält sich wie eine Krystallnadel (oder bei dickeren Schnitten wie eine senkrecht stehende Krystallplatte), und die Interferenzfarben, welche beim Drehen der Krystallnadel um eine senk-

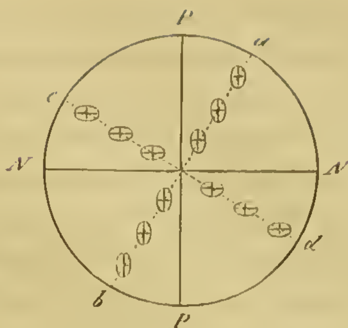


Fig. 182.

rechte Axe nach einander zum Vorschein kommen, finden sich auf der Schnittfläche gleichzeitig neben einander. Zwei diametrale Zonen ab und cd, in welchen die Axen der Elasticitätsellipsen in die Polarisationsebenen PP und NN der Nicols fallen, wirken demzufolge wie einfach brechende Medien; sie erscheinen ohne Gypsplättchen schwarz und mit einem Gypsplättchen von der unveränderten Interferenzfarbe desselben erhellt. Die Mittellinien der dazwischenliegenden Quadranten zeigen daher nothwendig die lebhaftesten Farben, und zwar in Verbindung mit einem Gypsplättchen paarweise Additions- oder Subtractionsfarben, je nachdem die homologen Axen der Ellipsen zusammenfallen oder sich rechtwinklig kreuzen. Auf einem Gypsplättchen Roth I, dessen Elasticitätsellipse die in Fig. 183 dargestellte Lage besitzt, würden also die mit A bezeichneten Quadranten unseres Cylinders die Farbe steigern, während die mit S bezeichneten dieselbe erniedrigen.

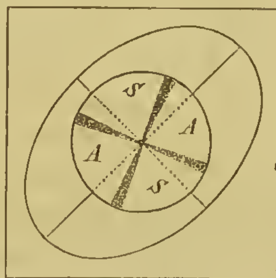


Fig. 183.

Auf Querschnitten durch Cylinder und Hohlcylinder ist hienach die Axenlage der wirksamen Elasticitätsellipsen leicht zu ermitteln. Wir fügen hinzu, dass alle bis jetzt bekannt gewordenen Fälle darin übereinstimmen, dass die eine Axe radial, die andere tangential verläuft, indem die neutralen Zonen, welche das dunkle Kreuz bilden, stets in die Polarisationsebenen der Nicols fallen. Die in Fig. 182 und 183 dargestellte Abweichung ist also nicht beobachtet, sondern bloss der Allgemeinheit wegen vorausgesetzt.

Der Querschnitt durch den Cylinder gibt uns also Aufschluss 310
darüber, ob die Axenrichtungen der Elasticitätsellipsen mit dem Radius und der Tangente zusammenfallen oder dieselben schiefwinklig kreuzen, und im erstgenannten Fall, ob die tangentiale oder die radiale Axe die grössere sei. Was ist nun aber damit gewonnen? Angenommen, die beiden Axen gehen wirklich dem Radius und der Tangente parallel, so fragt sich weiter, ob vielleicht die eine derselben zugleich Axe des Ellipsoids sei, oder ob man es mit einem beliebigen Diametralschnitt zu thun habe. Diese Frage ist nicht immer leicht zu beant-

worten. Die oben erwähnte Prüfung mittelst Drehen um die beiden Axen kann nämlich nur in solchen Fällen zum Ziel führen, wo der Querschnitt im Verhältniss zum Cylinderdurchmesser nicht zu dick ist. Bei höheren Stücken ist das Verfahren schon deshalb nicht anwendbar, weil dieselben, wenn sie merklich schief stehen, nicht mehr wie Querschnitte wirken. Um weitere Anhaltspunkte zu gewinnen, wird man also in der Mehrzahl der Fälle auf Längsschnitte und, wo diese nicht herstellbar sind, auf Längsansichten angewiesen sein.

311 Was zunächst die Längsschnitte betrifft, so ist einleuchtend, dass eine mittlere Lamelle *B B* (Fig. 184), wenn sie flach auf dem Objectträger liegt, über die Axenlage der Elasticitätsellipse in der Diametralebene des Cylinders entscheidet. Denn da die Randpartieen einer solchen Lamelle annähernd wie ein Krystallplättchen wirken, so muss sich sogleich herausstellen, ob die beiden Axen der Längs- und Querrichtung parallel gehen, oder ob sie diese Richtungen schiefwinklig kreuzen. Von diesem letzteren Falle dürfen wir übrigens vorläufig gänzlich absehen, da eine solche Kreuzung, soweit die bisherigen Beobachtungen reichen, nirgends vorkommt.

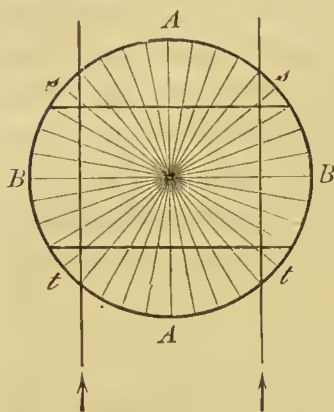


Fig. 184.

Wir nehmen also an, die im Quer- und Längsschnitt wirksamen Elasticitätsellipsen haben die radiale Axe gemein. Die durch die beiden andern Axen gelegte Ebene steht alsdann senkrecht auf dem Radius. Hieraus lässt sich nun, wenn man die Eigenschaften des Ellipsoids erwägt, der weitere Schluss ziehen, dass die gemeinsame radiale Axe eine Axe des Ellipsoids sei und dass demzufolge die beiden andern Axen desselben in einer tangentialen Ebene liegen. Man hat also nur nöthig, die Elasticitätsellipse eines Tangentialschnittes, wie z. B. der Cylindersegmente *A A* (Fig. 184), zu bestimmen, um nicht bloss die Richtungen der fraglichen Axen, sondern auch die relative Grösse derselben festzustellen.

Das Verhältniss der beiden tangentialen Axen zur radialen ist nun aber damit noch nicht gegeben, oder doch nur in dem Falle, wo die ersteren der Längs- und Querrichtung des Cylinders entsprechen. In jedem anderen Falle ist der Beobachter darauf angewiesen, dieses Verhältniss auf Schnitten, welche durch die zu vergleichenden Axen geführt

sind, oder wenn dieselben nicht zum Ziele führen, durch Neigen des Cylinders, wovon später die Rede sein wird, besonders auszumitteln.

Sollte es sich herausstellen, dass Schnitte, welche senkrecht zu einer der drei Axen geführt wurden, sich wie einfach brechende Medien verhalten, so sind die beiden andern Axen unter sich gleich, die doppelbrechenden Elemente also optisch-einaxig. Ruft dagegen jeder durch zwei Axen gelegte Schnitt Farben hervor, so sind die Cylinderelemente optisch-zweiaxig. Ob ein Object in die eine oder andere Kategorie gehöre, kann im Allgemeinen nicht eher entschieden werden, als bis die Richtung einer optischen Axe auf experimentellem Wege, sei es auf Schnitten oder durch Drehen, ermittelt ist. Es gehört eine sehr mangelhafte Kenntniss der Erscheinungen dazu, wenn man sich einbildet, die optischen Eigenschaften eines Gegenstandes auf irgend einem beliebigen Durchschnitt erforschen zu können.*) 312

---

*) Die Verschiedenheiten, welche man auf solchen Durchschnitten beobachtet, werden von manchen Autoren mit Ausdrücken bezeichnet, welche in der krystallographischen Optik eine ganz andere Bedeutung haben. Mohl und Valentin sprechen z. B. von negativer und positiver Farbe oder Beschaffenheit eines Objects, je nachdem die Elasticitätsellipse, welche auf Querschnitten zur Wirkung kommt, radial oder tangential orientirt ist. An anderen Orten wird die grosse oder kleine Axe der Ellipse, deren Wirkung man beobachtete, kurzweg die optische Axe genannt, und also stillschweigend vorausgesetzt, die letztere liege in der Ebene des Gesichtsfeldes, u. s. w. Es erscheint uns überflüssig, die Unzulässigkeit dieser und ähnlicher Benennungen, wie man sie in der einschlägigen Literatur findet, hier noch besonders darzulegen. Der Leser, welcher unseren bisherigen Erörterungen gefolgt ist, wird die nöthige Kritik selbst zu üben wissen.

Beispielsweise mögen indess noch einige Angaben Valentin's über das Verhalten cylindrischer Gebilde (Die Unters. der Pflanzen- und Thiergewebe im polar. Licht, S. 161) in aller Kürze Erwähnung finden. Valentin setzt die einaxige Beschaffenheit der Cylinderelemente voraus und erklärt sodann das Zustandekommen des dunkeln Kreuzes im Querschnitt für die »drei Hauptrichtungen der optischen Axe«: die senkrechte, die tangentiale und die radiale. Der senkrechten Stellung der optischen Axe entspricht das »Kreuz erster Ordnung«, der tangentialen das »Kreuz zweiter Ordnung«, endlich der radialen das »Kreuz dritter Ordnung«. Hiezu wird bemerkt, dass es Präparate aus dem Pflanzenreich (Eiweiss von Phytelephas) gebe, in denen Kreuze erster und solche dritter Ordnung neben einander in einem und demselben Querschnitt auftreten. — Gegen diese Darstellung ist zunächst einzuwenden, dass schon die Voraussetzungen, wenigstens soweit sie vegetabilische Präparate betreffen, mit der Wirklichkeit im Widerspruche stehen, indem z. B. alle Zellmembranen, die man genau kennt (es sind freilich nur wenige), sich als optisch-zweiaxig erwiesen haben.

313 Wir setzen zweitens den Fall, dass der Cylinder wegen seiner Kleinheit oder aus anderen Ursachen nicht gespalten werden könne und dass somit bloss Längsansichten des ganzen Cylinders zu Gebote stehen. Es ist vorauszusehen, dass solche Ansichten die diametralen Längsschnitte (*B B* Fig. 184) in den meisten Fällen ersetzen, indem der Lichteffect, den die beiden Randzonen hervorrufen, im Wesentlichen offenbar derselbe ist. Die Uebereinstimmung wird um so vollständiger sein, je mehr man die Lichtbrechung, die mit dem Eintritt in die Cylindersubstanz verbunden ist, vermindert. Gelingt es, dieselbe durch geeignete Wahl des umgebenden Mediums (Glycerin, Oel etc.) gänzlich zu beseitigen, so verhalten sich die von unten

---

Aber auch abgesehen davon, ist das »Kreuz erster Ordnung« unter dem Polarisationsmikroskop, zumal bei Vergrösserungen, wie sie bei den meisten der hieher gehörigen Objecte nothwendig sind, eine physikalische Unmöglichkeit, indem bei senkrecht stehender Axe der ganze Querschnitt dunkel erscheint. Nur bemerken wir ausdrücklich, dass wir unter Polarisations mikroskop ein gewöhnliches mit Polarisationsprismen ausgestattetes Mikroskop verstehen — das einzige Instrument übrigens, mit dem sich die von Valentin selbst angeführten mikroskopisch kleinen Objecte, wie Bastzellen, Pflanzeneiweiss etc., beobachten lassen. Das Bild, welches ein solches Instrument von Cylinderquerschnitten liefert, rührt nämlich von Lichtkegeln her, deren Oeffnung mit derjenigen der Blendung, resp. des polarisirenden Nicol, übereinstimmt. Der Gesammteffect eines solchen Kegels mit Rücksicht auf Doppelbrechung ist aber für unser Auge annähernd derselbe, als ob die verschieden geneigten Strahlen das Object in der Richtung der Mikroskopaxe durchlaufen hätten. Ein Krystallplättchen, dessen optische Axe senkrecht steht, zeigt denn auch in der That keine Spur von Doppelbrechung. — Ganz anders wirken die Polarisations apparate von Nörrenberg, Duve etc., die man hie und da ebenfalls, wenn auch mit Unrecht, als Mikroskope zu bezeichnen pflegt. Das reelle Bild, welches hier zu Stande kommt und durch die Ocularlinse betrachtet wird, ist nicht das Bild des zu untersuchenden Gegenstandes; die Strahlen, welche sich in der Bildebene kreuzen, stellen im Gegentheil, rückwärts verfolgt, ein parallelstrahliges Bündel dar, welches den Gegenstand mit um so grösserer Neigung gegen die Mikroskopaxe durchsetzt, je weiter der Kreuzungspunkt von dieser Axe absteht. In jedem Punkt des Bildes kommen also einfallende Strahlen von bestimmter Neigung zur Interferenz, und auf diesem Umstande beruht die Bildung von Ringen, wie man sie an senkrecht zur Axe geschliffenen Kalkspathplatten beobachtet.

Das »Kreuz erster Ordnung« kommt nur im Polarisationsapparat, nicht aber im Polarisationsmikroskop (ganz schwache Vergrösserungen ausgenommen) zu Stande. Valentin begeht in diesem wie in anderen Punkten (Combination mit einem Gypsplättchen, Bestimmung der Axenrichtung etc.) den Fehler, seine theoretischen Erörterungen auf die Wirkung eines Polarisationsapparates zu basiren und die erhaltenen Resultate ohne Weiteres auf Beobachtungen mit dem Polarisationsmikroskop überzutragen. Dass eine solche Methode, verbunden mit den Eingangs erwähnten willkürlichen Voraussetzungen, auf Irrwege führen muss, wird Jedermann einleuchten.

einfallenden Strahlen vollends wie in einer planplanen Platte, d. h. sie erlangen zunächst dem Rande dieselben Gangunterschiede, wie wenn das Mittelstück BB (Fig. 185) für sich allein wirksam wäre. Weiter nach innen kommen zwar noch die allmählich steigenden Effecte der dreieckigen Stücke s und t hinzu; allein es ist klar, dass sie in den peripherischen Schichten des Cylinders auf keinen Fall das Uebergewicht erreichen. Die beiden Randzonen müssen folglich, wenn das umgebende Medium von annähernd gleicher Dichtigkeit ist, unter allen Umständen die Farben eines Diametralschnittes zeigen.

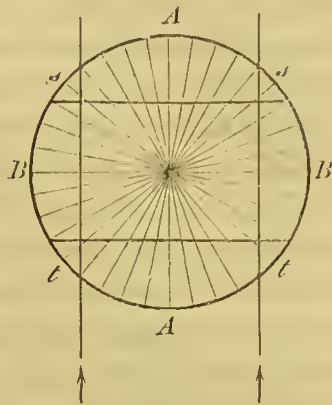


Fig. 185.

Die mittlere Zone verhält sich dagegen in der Längsansicht, wie schon früher bemerkt, wie zwei übereinanderliegende Krystallplättchen. Die Beobachtung kann daher höchstens entscheiden, ob die Axen der Elasticitätsellipsen der Längs- und Querrichtung entsprechen oder sich schiefwinklig kreuzen, und im letzteren Falle, ob die Mittellinie des spitzen Winkels, den die grossen Axen unter sich bilden, längs oder quer gestellt und welche von den beiden Ellipsen die obere sei. Dass diese Data zur Construction des Elasticitätsellipsoids im Allgemeinen nicht ausreichen, bedarf nach dem, was oben (pag. 337) hierüber gesagt wurde, keiner Erörterung. Es ist aber nichtsdestoweniger wichtig, die verschiedenen Fälle, welche die Beobachtung bieten kann, nach einander zu prüfen und die Consequenzen, die sich daraus ziehen lassen, für jeden einzelnen festzustellen.

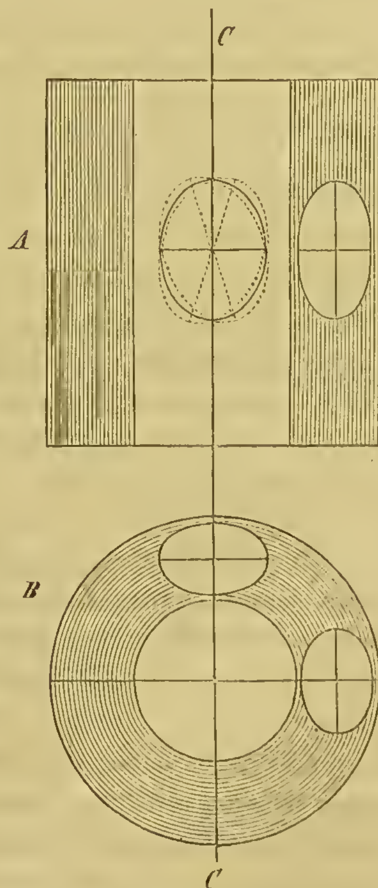


Fig. 186.

Es sei A (Fig. 186) der liegende Cylinder oder Hohlcylinder und B der dazu gehörige Querschnitt. Die Elasticitätsellipsen, welche bei ersterem in 314

der Mitte und am Rande wirksam sind, desgleichen diejenige des Querschnittes (hier auf der Linie CC liegend gedacht) seien durch Beobachtung bestimmt. Man weiss also von jeder derselben, ob sie in der Richtung der Axe CC oder in der darauf rechtwinkligen verlängert ist, oder ob sie neutral wirkt und daher einen Kreisschnitt des Ellipsoids darstellt. Nur ist hiezu zu bemerken, dass diese Data für die Mitte des liegenden Cylinders, im Falle die Elasticitätsellipsen der zu- und abgekehrten Seite sich kreuzen, auf jene eingebildete Ellipse zu beziehen sind, welche nach Früherem die Wirkung der beiden übereinander liegenden repräsentirt. Da nun jede dieser drei Ellipsen längs oder quer zur Cylinderaxe gestellt oder auch ein Kreis sein kann, was wir mit l (längs), q (quer) und o bezeichnen wollen, so ergeben sich im Ganzen 27 verschiedene Combinationen, wovon jedoch nur die folgenden 13 möglich sind.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Mitte	*l*	*q*	*l*	*q*	*l*	*q*	*l*	*q*	*l*	*q*	*o*	*o*	*o*
Rand	*l*	*q*	*l*	*q*	*q*	*l*	*l*	*q*	*o*	*o*	*l*	*q*	*o*
Querschnitt	*l*	*q*	*q*	*l*	*l*	*q*	*o*	*o*	*l*	*q*	*q*	*l*	*o*

Die übrigen 14 Combinationen, nämlich

	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.
Mitte	*l*	*q*	*o*	*o*	*l*	*q*	*l*	*q*	*o*	*o*	*o*	*o*	*l*	*q*
Rand	*q*	*l*	*l*	*q*	*o*	*o*	*q*	*l*	*o*	*o*	*l*	*q*	*o*	*o*
Querschnitt	*q*	*l*	*l*	*q*	*q*	*l*	*o*	*o*	*l*	*q*	*o*	*o*	*o*	*o*

sind unmöglich, weil immer eine der drei angenommenen Stellungen, wie leicht nachzuweisen, mit den beiden andern unvereinbar ist. Man erhält z. B. aus Combination 14, wenn man die längsgestellte Ellipsenaxe (der Median- und Randansicht) mit L, die radiale Axe mit R und die tangentiale mit T bezeichnet, die Ungleichheiten: $R < T$, $R > L$, $L > T$, was unmöglich ist. Ebenso leicht ist der Beweis für die übrigen Combinationen zu liefern.

315 Die Folgerungen, die sich aus den 13 möglichen Combinationen ziehen lassen, ordnen sich naturgemäss in zwei Reihen. Die erste Reihe enthält diejenigen Fälle, wo eine der drei Axen des Ellipsoids der Cylinderaxe parallel geht; die zweite umfasst alle übrigen mit beliebig schiefer Stellung der beiden tangentialen Axen. Beide Reihen sind in nachstehender Uebersicht, der bequemeren Vergleichung wegen, mit der Combinationsreihe zusammengestellt. Die dabei angewandten Bezeichnungen haben folgende Bedeutung: $\pm$ positiv oder negativ, d. h. unentschieden ob das eine oder das andere: Axenebene = Ebene der optischen Axen; tangential = einer an die

Cylinderoberfläche gelegten Tangentialebene parallel; radial = in der durch den Radius und die Longitudinalaxe (L) gelegten Ebene; transversal = in einer auf der Axe L senkrechten Ebene; L = Longitudinalaxe, d. h. Axe des Elasticitätsellipsoids, welche in der ersten Reihe der Cylinderaxe parallel geht und in der zweiten Reihe weniger als 45° gegen dieselbe geneigt ist; T = Tangentialaxe, d. h. die Axe des Ellipsoids, welche auf der durch L und den Cylinderradius gelegten Ebene senkrecht steht; R = Radialaxe.

Combination.				Optischer Charakter der Cylinderelemente.	
Nr.	Mitte	Rand	Querschn.	Erste Reihe: L geht parallel der Cylinderaxe.	Zweite Reihe: L steht schief, Neigung < 45°.
1.	l	l	l	Zweiaxig ±, Axenebene tangent. L grösste, T kleinste Elast.-Axe	Zweiaxig ±, Axenebene tangent. L grösste, T kleinste Elast.-Axe
2.	q	q	q	Zweiaxig ±, Axenebene tang. T grösste, L kleinste Axe	Zweiaxig ±, Axenebene tang. T grösste, L kleinste Axe
3.	l	l	q	Zweiaxig ±, Axeneb. rad. L grösste, R kleinste Axe	Zweiaxig ±, Axenebene radial L grösste, R kleinste Axe. Oder zweiaxig +, Axenebene tangent. L grösste, T kleinste Axe. Oder einaxig + L = opt. Axe
4.	q	q	l	Zweiaxig ±, Axeneb. rad. R grösste, L kleinste Axe	Zweiaxig ±, Axenebene radial R grösste, L kleinste Axe. Oder zweiaxig −, Axenebene tangent. T grösste, L kleinste Axe. Oder einaxig − L = opt. Axe
5.	l	q	l	Zweiaxig ±, Axenebene transv. R grösste, T kleinste Axe	Zweiaxig ±, Axenebene transv. R grösste, T kleinste Axe. Oder zweiaxig −, Axenebene tang. L grösste, T kleinste Axe. Oder einaxig − T = opt. Axe
6.	q	l	q	Zweiaxig ±, Axenebene transv. T grösste, R kleinste Axe	Zweiaxig ±, Axenebene transv. T grösste, R kleinste Axe. Oder zweiaxig +, Axenebene tang. T grösste, L kleinste Axe. Oder einaxig + T = opt. Axe

Combination.				Optischer Charakter der Cylinderelemente.	
Nr.	Mitte	Rand	Querschn.	Erste Reihe: L geht parallel der Cylinderaxe.	Zweite Reihe: L steht schief, Neigung $< 45^{\circ}$
7.	l	l	o	Einaxig + L = opt. Axe	Zweiaxig +, Axenebene tang. L grösste, T kleinste Axe
8.	q	q	o	Einaxig – L = opt. Axe	Zweiaxig –, Axenebene tang. T grösste, L kleinste Axe
9.	l	o	l	Einaxig – T = opt. Axe	Zweiaxig –, Axenebene tang. L grösste, T kleinste Axe
10.	q	o	q	Einaxig + T = opt. Axe	Zweiaxig + T grösste, L kleinste Axe
11.	o	l	q	Einaxig – R = opt. Axe	Zweiaxig +, Axenebene tang. L und $T = 45^{\circ}$ geneigt. Oder zweiaxig ±, Axenebene radial R kleinste Axe. Oder einaxig +, opt. Axe tang. und 45° geneigt
12.	q	o	l	Einaxig + R optische Axe	Zweiaxig –, Axenebene tang. L und $T = 45^{\circ}$ geneigt. Oder zweiaxig ±, Axenebene radial R grösste Axe. Oder einaxig –, opt. Axe tangential und 45° geneigt
13.	o	o	o	Einfachbrechend	Zweiaxig neutral, Axenebene tang. L und $T = 45^{\circ}$ geneigt

316 Die Ableitung der in vorstehender Uebersicht zusammengestellten Folgerungen aus den durch Beobachtung bestimmten Stellungen der Elasticitätsellipsen ist ungemein einfach und bedarf eigentlich für Leser, die sich die gegebenen Verhältnisse klar vorstellen oder vielleicht durch Modelle oder Figuren versinnlichen, keiner Erörterung. Jedenfalls wird es vollständig genügen, wenn wir den Weg, den man dabei einzuschlagen hat, an einem Beispiele zur Anschauung bringen.

Die beobachtete Combination sei lll (die erste in unserer Reihe) und die Längsaxe L des Ellipsoids sei schief gegen die Cylinderaxe gestellt. Dann ist der Winkel, welchen die Axe L mit der Cylinderaxe bildet, durch die sich kreuzenden Ellipsen, welche in der Mitte des liegenden Cylinders wirksam werden, in seinem Grenzwerthe

bestimmt, d. h. er ist in unserem Falle jedenfalls kleiner als 45°. Diese Ellipsen haben also beispielsweise die in Fig. 187 dargestellte Orientirung wenn nämlich CC der Cylinderaxe parallel geht. Man hat folglich $st > mn$ und LL grösser als TT. Die Durchmesser mn und st, welche der Quer- und Längsrichtung des Cylinders entsprechen, stellen aber offenbar je eine Axe der Ellipsen dar, die auf dem Querschnitt und am Rande des liegenden Cylinders zur Wirkung kommen; mn ist die tangentiale Axe der Querschnittsellipse, st die längsgestellte der Randansicht. Aus

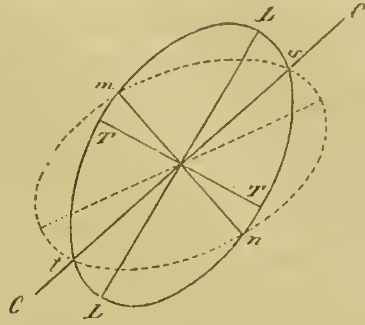
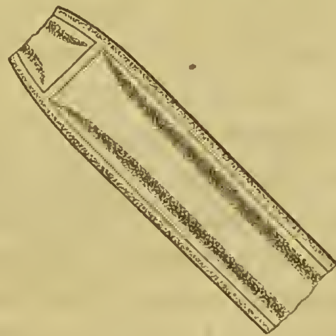


Fig. 187.

der Form dieser Ellipsen, wie sie durch die Combination lll bestimmt ist, ergibt sich aber, dass die radiale Axe R des Ellipsoids grösser als mn und kleiner als st ist; sie kann also nur die mittlere Axe desselben sein. Die Elemente sind also zweiaxig und die optischen Axen liegen in einer tangentialen Ebene. Das Verhältniss der Axe R zu den beiden andern und die davon abhängige Lage der Kreisschnitte bleiben jedoch unbestimmt, die positive oder negative Natur der Elemente also zweifelhaft.

Von den dreizehn oben zusammengestellten Combinationen ver- 317
dienen einzelne wegen des optischen Effectes, den sie hervorrufen, nachträglich noch eine besondere Betrachtung. Wir heben zunächst den Fall hervor, der in den Combinationen 5 und 6 in unserer Reihe gegeben ist, dass nämlich Rand und Mitte des liegenden Cylinders Farben von entgegengesetztem Charakter hervorrufen. Dieser Fall charakterisirt sich bei der Beobachtung mit Gypsplättchen augenblicklich durch die neutralen Längsstreifen, welche den Uebergang zwischen den entgegengesetzten Farben der Rand- und Flächenansicht vermitteln


Fig. 188.

und welche daher ohne Gypsplättchen als dunkle Linien erscheinen (Fig 188). Diese Linien entsprechen den Stellen, wo die resultirende Elasticitätsellipse der Flächenansicht, welche natürlich nach beiden Seiten hin allmählich in die entgegengesetzt orientirte des Randes übergeht, die Form des Kreises erreicht hat, wo also die über ein-

ander liegenden Ellipsen der zu- und abgekehrten Cylinderhälfte sich rechtwinklig kreuzen. Eine rechtwinklige Kreuzung setzt aber, der symmetrischen Lage wegen, voraus, dass beide Ellipsen unter 45° gegen die Cylinderaxe geneigt seien.

Man könnte nun, wenn man die Sache vom rein geometrischen Standpunkt aus betrachtet, auf den Gedanken kommen, aus dem bekannten Abstande der neutralen Linien vom Rande den unbekannten Winkel *e* zu bestimmen, welchen die übereinander liegenden Ellipsen in der Medianzone bilden; denn es ist einleuchtend, dass die erwähnte Neigung von 45° in um so grösserer Entfernung von der Mittellinie erreicht wird, je mehr die Neigung auf der Mittellinie davon abweicht. Allein da jede Schicht im Cylinder ihre eigene neutrale Linie hat, welche gegen die der anliegenden Schichten seitlich verschoben und von der Interferenzfarbe derselben mehr oder minder erhellt erscheint, so fällt der Gesammteffect nicht bestimmt genug aus, um bei der Kleinheit der Objecte, die wir hier im Auge haben, in der angedeuteten Weise praktisch verwerthbar zu sein. Dasselbe gilt auch von der Bestimmung der optischen Axen, im Falle $e = o$. Es mag daher genügen, auf die diessfalls bestehenden, ohnehin ziemlich verwickelten Beziehungen hier nur ganz im Allgemeinen aufmerksam gemacht zu haben.

Die neutralen Längsstreifen treten am schönsten an dünnwandigen hohlcylindrischen Zellen, welche das Licht stark brechen, hervor; doch fallen sie auch bei stärkerer Verdickung noch ziemlich deutlich in die Augen. Wir beobachteten dieselben namentlich an vegetabilischen Haaren (z. B. von Stachys), aber auch die Gewebezellen liefern hin und wieder hiehergehörige Beispiele.

Einen zweiten Fall, der gewissermaassen das Gegenstück des vorhergehenden bildet, liefert die Combination 13. Hier erscheinen am liegenden Cylinder Rand und Mitte neutral; der erstere, weil eine optische Axe senkrecht steht, die letztere, weil die beiden übereinander liegenden Ellipsen sich rechtwinklig kreuzen. Mit der Entfernung von der Mittellinie nehmen aber diese Ellipsen eine mehr aufrechte Lage an; sie schneiden sich jetzt spitzwinklig und bringen daher eine Wirkung hervor, welche der Stellung *l* auf der Mittellinie entspricht. Gegen den Rand zu wird jedoch diese Wirkung wieder allmählich aufgehoben, weil die Differenz zwischen der grossen und kleinen Axe der Ellipsen immer kleiner und am Rande selbst Null wird. Wir erhalten also zwei durch Interferenzfarben erleuchtete

Streifen zu beiden Seiten der Mittellinie, indess diese letztere und die beiden Ränder sich neutral verhalten.

Wenn wir uns jetzt die Aufgabe stellen, die mancherlei Alter- 318
nativen, die in obiger Zusammenstellung figuriren, wo möglich auf eine kleinere Zahl zurückzuführen, so liegt wohl die Frage am nächsten, ob vielleicht die Richtung der optischen Axen sich experimentell bestimmen lasse. Theoretisch betrachtet ist die Sache, wie man leicht einsieht, ungemein einfach. Man hat nur nöthig, durch Neigen des Querschnittes nach verschiedenen Seiten die beiden Stellungen zu ermitteln, in welchen das Object wie ein einfach brechendes Medium wirkt, die optischen Axen also genau senkrecht stehen. Ebenso muss sich beim Neigen des liegenden Cylinders herausstellen, ob die optischen Axen in einer tangentialen Ebene liegen oder nicht; denn wo jenes der Fall, müssen die Ränder bei einer bestimmten Neigung, welche der senkrechten Stellung einer optischen Axe entspricht, sich nothwendig neutral verhalten.

Für die Praxis haben nun aber diese Regeln einen sehr untergeordneten Werth, aus dem einfachen Grunde, weil die Beobachtung nicht mit jener Sicherheit möglich ist, die man a priori erwarten möchte. Die Querschnitte sind in den meisten Fällen fast gar nicht zu gebrauchen, und auch die Randansichten geben häufig genug einen sehr zweifelhaften Effect. Dazu kommt, dass diese letzteren nur unter den günstigsten Verhältnissen die Anhaltspunkte bieten, die zur Bestimmung der Axenlage erforderlich sind. Da nämlich die Neigung des Elasticitätsellipsoids, resp. seiner Längsaxe L zur Cylinderaxe im Allgemeinen unbekannt ist, so bleibt die positive oder negative Natur der Cylinderelemente zweifelhaft, wofern nicht der Winkel, den die optischen Axen mit einander bilden, annähernd gemessen oder das Vorhandensein einer einzigen optischen Axe nachgewiesen werden kann. Die wenigen Regeln, die sich mit Rücksicht auf das Verhalten der Ränder beim Neigen praktisch verwerthen lassen, sind in folgenden Sätzen enthalten.

1) Ist es möglich, die Richtung der optischen Axen in der Tangentialebene zu ermitteln, so ist damit auch der Winkel, den sie mit den Elasticitätsaxen bilden, und folglich auch die Neigung dieser letzteren zur Cylinderaxe bestimmt. — Beispiel: Die Mitte des liegenden Cylinders gibt eine Farbe, welche der Stellung l entspricht; der rechte Rand wird beim Neigen nach der einen Seite, wobei das vom Beobachter entferntere Ende sich senkt und das nähere sich hebt,

nach einer Drehung von 40° neutral, beim Drehen nach der entgegengesetzten Seite hin dagegen bei 20°; der linke Rand verhält sich umgekehrt. Die Cylinderelemente sind alsdann negativ, der Axenwinkel ist 60°, und die Längsaxe *L* des Ellipsoids ist in der Richtung einer (nach botanischer Terminologie) linkswendigen Spirale um 10° gegen die Cylinderaxe geneigt.

2) Die Mitte des liegenden Cylinders gebe dieselbe Farbe wie im vorhergehenden Beispiel. Wird alsdann beim Neigen bis zu 45° weder der eine noch der andere Rand neutral, so sind die Cylinderelemente optisch positiv.

3) Die Mitte des liegenden Cylinders gebe die Farbe der Stellung *q*. Wird alsdann beim Neigen bis zu 45° weder der eine noch der andere Rand neutral, so sind die Cylinderelemente optisch negativ.

319 In zwei speciellen Fällen muss sich auch die Mitte des liegenden Cylinders bei einer bestimmten Neigung neutral verhalten. Der eine Fall tritt ein, wenn die horizontale Lage eine Farbe hervorruft, welche der Stellung *l* entspricht, und wenn überdiess die radiale Axe des Ellipsoids die kleinste ist. In diesem Falle bedingt nämlich das Neigen des Cylinders eine allmähliche Annäherung der wirksamen Elasticitätsellipsen zur Querstellung, die sie nach einer Drehung von 90° auch erreichen würden. Diese Ellipsen müssen daher bei einer bestimmten Neigung genau 45° von der Längsrichtung des Cylinders abweichen und sich folglich rechtwinklig kreuzen. Ihre Wirkungen heben sich alsdann gegenseitig auf: die Mitte verhält sich neutral. — Der zweite Fall ist diesem ersten analog; er tritt ein, wenn die Farbe der horizontalen Lage der Stellung *q* entspricht, und wenn überdiess die radiale Axe des Ellipsoids die grösste ist. In diesem Falle nähern sich die beiden Ellipsen beim Neigen des Cylinders der Längsstellung und erreichen also ebenfalls eine Lage, wo sie sich rechtwinklig schneiden und in ihren Wirkungen aufheben. — Die Bedingungen der Neutralität sind übrigens in beiden Fällen auch dann noch gegeben, wenn die radiale Axe der mittleren gleich angenommen und damit die einaxige Beschaffenheit der Elemente vorausgesetzt wird.

Die Anwendung dieser Beziehungen auf die Combinationen 3 und 4 in obiger Uebersicht, welche allein den vorgeschriebenen Bedingungen Genüge leisten, gibt uns ein Mittel an die Hand, entweder die erste und dritte, oder aber die zweite der dort angeführten Möglichkeiten auszuschliessen.

2. Kugelige und ovale Objecte.

Hier ist zu allernächst zu bemerken, dass obige Benennungen 320
sich nur auf Objecte beziehen, deren doppelbrechende Elemente in mehr oder weniger concentrischen Schichten um einen Mittelpunkt gruppirt sind, wo also zwischen der äusseren Form und dem inneren Bau eine gewisse Uebereinstimmung besteht. Kugeln, die aus einem Krystall oder einem Cylinder geschnitten würden, müssten sich natürlich gerade so verhalten, wie diese Objecte selbst, und bedürfen somit keiner besonderen Betrachtung.

Die Möglichkeiten, welche bei geschichtetem Bau mit Rücksicht auf das optische Verhalten der Objecte denkbar sind, zerfallen bei näherer Prüfung der Verhältnisse in zwei Kategorien, die sich beim Drehen des Objects während der Beobachtung immer leicht unterscheiden lassen. Entweder behalten die Polarisationsfarben in allen möglichen Ansichten, die man beim Drehen erhält, denselben Charakter und dieselbe Anordnung, d. h. man beobachtet immer dieselbe Stellung der neutralen Linien, der Additions- und der Subtractionsquadranten. Oder diese Uebereinstimmung der verschiedenen Ansichten findet nicht statt: das Bild zeigt beim Drehen des Objects einen sehr augenfälligen Wechsel der Erscheinungen, welcher nur dann unterbleibt, wenn zufällig die Drehungsaxe mit einem bestimmten Durchmesser des Objects, der vor den andern ausgezeichnet ist, zusammenfällt.

Man sieht leicht ein, dass bei Objecten der ersteren Art die doppelbrechenden Elemente hinsichtlich der Lage ihrer Elasticitätsaxen um jeden Radius und somit um jeden Punkt der Oberfläche symmetrisch gestellt sein müssen, während im letzteren Falle eine solche Symmetrie, ähnlich wie bei einem Cylinder, nur mit Bezug auf jene ausgezeichnete Richtung, die man als Axe bezeichnen kann, indicirt ist. Das Drehen der Objecte unter dem Mikroskop gibt also Aufschluss darüber, ob dieselben als Kugeln mit gleichwerthigen Durchmessern oder aber als Körper mit einer bevorzugten Richtung (Axe) zu betrachten sind.

a) Objecte mit gleichen Durchmessern.

Die Stellung des neutralen Kreuzes zu den Polarisationsprismen 321
entscheidet hier zunächst die Frage, ob eine der drei Elasticitätsaxen der doppelbrechenden Elemente radial gestellt sei oder wenigstens in

einer bestimmten Beziehung zum Radius stehe, oder aber nicht; denn im ersteren Falle entsprechen die neutralen Linien den Polarisationsebenen der Prismen, während sie im letzteren dieselben schiefwinklig schneiden. — Streng genommen ist übrigens dieser letztere Fall mit der Gleichwerthigkeit der Durchmesser und mit der dadurch bedingten unveränderlichen Lage des neutralen Kreuzes nicht vereinbar. So oft nämlich die Elasticitätsaxen schiefwinklig gegen die Schichten oder den Radius gestellt sind, erheischt die Gleichwerthigkeit der Durchmesser alle möglichen Orientirungen in der tangentialen Ebene, d. h. die doppelbrechenden Elemente müssen alle die Stellungen einnehmen, welche ein einzelnes Element beim Drehen um einen radialen Durchmesser nacheinander einnimmt: die neutrale Linie fällt also mit der Axe des Kegels, den das Element während der Drehung beschreibt, in dieselbe Verticalebene. — Wären die Elasticitätsaxen ganz beliebig nach allen Richtungen im Raume orientirt, die verschiedenen Stellungen also gleich häufig vertreten, dann müsste die Kugel wie eine einfach brechende Substanz wirken, und jede weitere Untersuchung wäre zwecklos.

Eine bestimmte Beziehung der Elasticitätsaxen zum Radius ist also schon durch das blosse Vorhandensein von Interferenzfarben indicirt: eine der Axen muss bei der vorwiegenden Zahl der Elemente mit dem Radius einen Winkel bilden, der gleich Null oder doch kleiner als 45° ist. Für unsere weiteren Betrachtungen schliessen wir jedoch diesen letzteren Fall vollständig aus; wir nehmen auch hier wie beim Cylinder und bei einzelnen Membranlamellen an, die doppelbrechenden Elemente seien durchgehends übereinstimmend gelagert, die Elasticitätsaxen folglich in allen Punkten des Objects so gestellt, dass eine derselben mit dem Radius zusammenfällt, indess die beiden andern in einer tangentialen Ebene, d. h. in der Ebene der Schichtenfläche liegen.

Unter dieser Voraussetzung verhält sich die Kugel in jeder beliebigen Lage, wenigstens in ihren Randpartien, wie eine mittlere Lamelle *BB* (Fig. 189), die man sich aus derselben herausgeschnitten denkt, oder auch wie ein Querschnitt durch den Cylinder. Denn es lässt sich leicht nachweisen, dass die zugekehrte und die abgekehrte Kugelcalotte stets in gleichem Sinne wirken, wie das eingebildete Mittelstück, dass sie also den Effect desselben nur verstärken, nicht verändern. Bei einaxigen Elementen mit radial gestellter optischer Axe ist diess ohne Weiteres einleuchtend. Bei zweiaxigen gelangt man zu demselben Resultat, wenn man erwägt, dass die tangen

tialen Elasticitätsaxen beliebig orientirt sind und daher auf den durchgehenden Lichtstrahl mit einem Werthe wirken, der zwischen der kürzeren und der längeren Axe die Mitte hält. Der Effect der über einander liegenden Elemente ist offenbar der nämliche, wie wenn dieselben bei gleicher Orientirung der tangentialen Axen in rascher Drehung um ihre radiale Axe begriffen wären, und somit auch derselbe wie bei einaxigen Elementen mit radial gestellter optischer Axe.

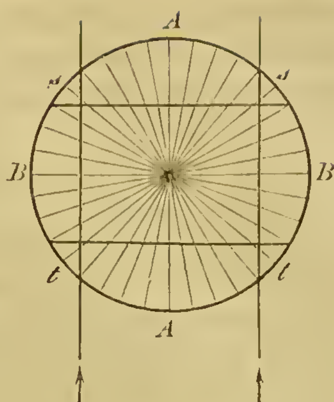


Fig. 189.

Das Bild, welches ein kugeliges Object im polarisirten Licht gewährt, entscheidet hienach die Frage, ob die radiale Axe des Elasticitätsellipsoids grösser oder kleiner sei als der mittlere Werth der beiden tangentialen; es lässt aber unentschieden, ob die Elemente ein- oder zweiaxig seien. Wird das Letztere angenommen, so bleibt ferner zweifelhaft, ob die radiale Axe die mittlere, oder je nach dem Farbencharakter die grösste oder die kleinste sei, d. h. es bleibt zweifelhaft, ob die optischen Axen in einer tangentialen oder in einer diametralen Ebene liegen. **322**

Das neutrale Kreuz, welches die Additions- und Subtractionsquadranten von einander trennt, verhält sich genau so, wie bei Cylinderquerschnitten. Es erscheint rechtwinklig, wenn die durch das Schichtencentrum gelegten Polarisationsebenen der Nicols die Schichten selbst rechtwinklig schneiden, im entgegengesetzten Falle dagegen schiefwinklig. Bei kreisförmig verlaufenden Schichten ist das Erstere natürlich immer der Fall, bei elliptisch verlaufenden nur dann, wenn die Axen der Ellipsen in die gedachten Polarisationsebenen fallen. In jeder anderen Stellung bilden die neutralen Linien schiefe Winkel, und wenn das Verhältniss der Axen nicht constant bleibt, so erscheinen sie überdiess mehr oder weniger gekrümmt. Sind z. B. PP und NN (Fig. 190) die Schwingungsebenen der Nicols, und ab und cd die Axen der elliptischen

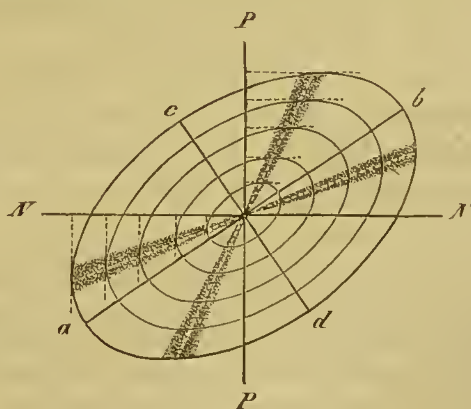


Fig. 190.

Schichten, so müssen die neutralen Linien den in der Figur dargestellten Verlauf zeigen; sie verbinden die Berührungspunkte der von PP und NN rechtwinklig abgehenden Tangenten. *)

b) Objecte mit einer Axe.

323 Die doppelbrechenden Elemente sind hier um einen bestimmten Durchmesser, statt um ein Centrum, gruppirt. Nimmt man an, die Gruppirung sei eine durchgehends gleichmässige, so z. B. dass die Axen des Elasticitätsellipsoids mit dem Radius und dem Meridiankreis, die sich in seinem Mittelpunkt schneiden, überall dieselben Winkel bilden, dann verhält sich ein solches Object im Wesentlichen wie ein Cylinder. Es erzeugt bei horizontaler Stellung der Axe, wenigstens in einer mittleren Querzone, die man als Aequatorialzone bezeichnen kann, die Farben des liegenden Cylinders und bei senkrechter Stellung der Axe, wenn auch nur im peripherischen Theile, die Farben des Cylinderquerschnitts. Die Deutung des beobachteten Effectes kann daher in gleicher Weise geschehen, wie beim Cylinder. Wir bemerken übrigens, dass bis jetzt keine Objecte bekannt sind, welche in diese Kategorie gehören.

V.

Ueber einige Eigenthümlichkeiten des Baues organisirter Substanzen.

324 In den vorhergehenden Erörterungen ist durchgehends die Voraussetzung festgehalten, dass die Orientirung der Elasticitätsellipsen in allen Punkten der Substanz dem Effecte entspreche, den die übereinander liegenden Elemente hervorbringen. Wir haben angenom-

*) Dass die neutralen Linien in einem System ähnlicher Ellipsen, wo also das Verhältniss der kleinen Axe zur grossen dasselbe bleibt, gerade Linien sind, folgt unmittelbar aus der relativ gleichen Grösse der Ordinaten und Abscissen für die Berührungspunkte der Tangenten. Man sieht übrigens, dass die neutralen Linien in unserer Figur mit den in die Polarisationsebenen PP und NN fallenden Durchmessern zwei Paare von conjugirten Diametern darstellen, und sich folglich unter Winkeln schneiden, welche innerhalb gewisser Grenzen variiren. — Die Construction der neutralen Linien für ein beliebiges System von ovalen Schichten unterliegt nach dem Gesagten keiner Schwierigkeit; man hat nur nöthig, die Tangenten zu ziehen und deren Berührungspunkte zu verbinden.

men, dass die doppelbrechenden Elemente, aus welchen die Schichten einer Membran, eines cylindrischen oder kugelförmigen Objects zusammengesetzt sind, überall dieselbe gesetzmässige Anordnung zeigen, und auf Grund dieser Annahme gefunden, dass eine Elasticitätsaxe stets radial, die beiden andern tangential gestellt seien. Wir haben sodann die Richtung der letzteren nach dem Effecte bestimmt, den die Flächenansichten hervorrufen, oder sie unbestimmt gelassen, wenn diese Ansichten neutral wirkten.

Dieses Verfahren wäre bei krystallinischen Medien mit entsprechender Anordnung der kleinsten Theilchen selbstverständlich; bei organisirten ist es immerhin plausibel, aber es verdient hervorgehoben zu werden, dass eine absolute Nöthigung für die Annahme eines so regelmässigen Baues hier nicht besteht. Die organisirten Substanzen verhalten sich nämlich in wesentlichen Punkten anders als die nicht organisirten; ihr optischer Charakter ist nicht, wie bei diesen, von den Distanzveränderungen abhängig, welche die kleinsten Theilchen durch Druck oder Zug oder auch durch Quellungsmittel erfahren, er bleibt constant, selbst wenn die Veränderungen ein Vielfaches der ursprünglichen Entfernungen betragen. Man kann ein Haar, eine Bastfaser u. dgl. nach Belieben strecken oder krümmen, ohne deren Farbencharakter zu ändern, während beispielsweise eine feine Glasröhre schon bei geringer Krümmung die Farbe hervorruft, welche der dadurch bedingten Distanzveränderung ihrer Atome entspricht. Ebensowenig bewirkt die Quellung eines Membranstückes in Schwefelsäure oder Kupferoxydammoniak, wobei vielleicht die Dicke auf das Fünffache steigt, indess Länge und Breite nur wenig zunehmen, eine wesentliche Veränderung der optischen Eigenschaften. Daraus folgt aber, dass diese letzteren in jenen Atomgruppen, die man als Molecüle zu bezeichnen pflegt, ihren Sitz haben, dagegen mit der Entfernung derselben von einander und mit den Spannungen, die sich allfällig zwischen ihnen entwickeln, in keinem Zusammenhange stehen. Jedes einzelne Molecül wirkt wie ein kleiner Krystall, und wenn sich die Wirkungen addiren, so steigt die resultirende Interferenzfarbe um so höher, je grösser die Zahl, die der durchgehende Lichtstrahl zu passiren hat, und wird dabei um so intensiver, je grösser diejenige, die auf die Flächeneinheit des mikroskopischen Bildes kommt.

Da nun die organisirten Substanzen, wie wir weiterhin darlegen werden, aus einem Gemenge verschiedener Verbindungen bestehen, die sich gegenseitig durchdringen und wovon vielleicht jede ihre be-

sonderen Molecüle bildet, die möglicher Weise auch abweichend orientirt sind; da ferner das Mischungsverhältniss dieser Verbindungen in den verschiedenen Schichten nachweisbar ungleich ist und überdiess die Nothwendigkeit einer immer gleichen Orientirung bei der Einlagerung neuer Molecüle zwischen schon vorhandene selbst bei gleichartiger Beschaffenheit nicht besteht oder wenigstens nicht bewiesen ist: so erfährt der durchgehende Lichtstrahl voraussichtlich die Wirkung verschieden orientirter Elemente, und die Ellipse, welche dem beobachteten Effecte entspricht, kann streng genommen nur als eine eingebildete oder resultirende gedeutet werden, welche mit Rücksicht auf Form und Stellung zwischen den wirklichen Ellipsen, die auf den Lichtstrahl einwirken, die Mitte hält. Es ist z. B. völlig gleichgültig, ob eine Axe der Elasticitätsellipse durchgehends radial gestellt sei, oder ob sie in den übereinander liegenden Elementen, wenn die Zahl derselben unendlich gross ist, beispielsweise alle möglichen Abweichungen zwischen 0 und 30° nach der einen und anderen Seite hin darbiete; der Effect ist in beiden Fällen derselbe. Ebensowenig kommt dabei in Betracht, ob die hintereinander liegenden Molecüle der nämlichen radialen Reihe gleich oder ungleich orientirt seien, wofern nur die übereinander liegenden Reihen die eben erwähnten Abweichungen zeigen. Man kann sich überhaupt eine ganz beliebige Anordnung der doppelbrechenden Elemente denken, wenn nur gewisse Stellungen, welche zusammen den beobachteten Effect hervorbringen, vorwiegend vertreten sind.

325 Eine weitere Eigenthümlichkeit, die mit dem innern Baue und mit der Wachsthumsweise der organisirten Substanzen zusammenhängt, ist der ungleiche Wassergehalt der dichtern und weichern Schichten und die dadurch bedingte Ungleichheit der doppelbrechenden Kraft. Es ist in Folge dessen unzulässig, Querschnitte und Flächenansichten hinsichtlich ihrer doppelbrechenden Kraft mit einander zu vergleichen, in der Absicht, aus den Farben, die sie hervorrufen, die relative Excentricität der wirksamen Elasticitätsellipsen zu erschliessen. Wenn z. B. eine 6 Mik. dicke Membran in der Flächenansicht mit einem Gypsplättchen Roth I die Additionsfarbe Blau II gibt, indess ein Querschnitt schon bei 4 Mik. Dicke dieselbe Wirkung hervorbringt, so folgt daraus nicht, dass die Elasticitätsellipse des Querschnitts eine im Verhältniss grössere oder überhaupt eine grössere Excentricität besitze als die der Flächenansicht; denn bei letzterer bilden die wirksameren dichten Schichten nur einen Bruchtheil

der Gesammtdicke, während sie im Querschnitt continuirlich von einer Schnittfläche zur andern verlaufen. Eine Vergleichung im angegebenen Sinne ist daher nur zwischen den verschiedenen tangentialen Richtungen statthaft, wie sie auf Quer-, Längs- oder beliebig schiefen Schnitten, wenn sie durch einen Radius gehen, zur Wirkung kommen.

Dass Flächenansichten von Membranen, deren Schichten auf dem Querschnitt Farben von entgegengesetztem Charakter hervorrufen, eine Deutung nach den früher angegebenen Regeln nicht gestatten, sobald mehr als zwei solche Schichten übereinander liegen, ist an und für sich klar.

VI.

Zusammenstellung von Beispielen.

Alle bis jetzt untersuchten organisirten Gebilde stimmen darin 326
überein, dass eine der drei Elasticitätsaxen radial gestellt ist. Die beiden in der Tangentialebene liegenden Axen zeigen dagegen die verschiedensten Orientirungen; bald entsprechen sie der Längs- und Querrichtung der Zelle oder Faser, bald schneiden sie diese Richtungen unter verschiedenen Winkeln. Wir bezeichnen nachstehend mit Linksdrehung oder Rechtsdrehung die Stellungen, in welchen die längere der beiden tangentialen Axen beziehlich in der Richtung einer linksläufigen oder rechtsläufigen Spirale (nach botanischer Terminologie) dahingeht*). Der Winkel, welchen die Spiralwindungen mit der Längsaxe bilden, heisse φ. — Betreffend die Orientirung der Ellipsen im Querschnitt, auf diametralen Längsschnitten oder Randansichten und auf Flächenansichten cylindrischer Gebilde, so gebrauchen wir eine Bezeichnung, welche im Princip mit der oben (pag. 344) angewandten übereinstimmt, jedoch insofern davon abweicht, als sie für Quer- und Längsschnitte (und bei kugeligen Objecten für beliebige Durchschnittsansichten) auf die Beziehung zum Schichtenverlauf, nicht zum Durchmesser, basirt ist. Wir bezeichnen hienach mit p (parallel) und mit t (transversal) die Stellungen der Elasticitätsellipsen, in welchen die grossen Axen derselben beziehlich in der Richtung der Schichten verlaufen oder dieselben

---

*) Eine gewöhnliche Schraube besitzt nach botanischer Terminologie linksläufige Windungen, während sie in der Mechanik rechtswendig genannt wird.

rechtwinklig schneiden. Diese Beziehung zum Schichtenverlauf ist übrigens nicht willkürlich gewählt, sondern der Natur selbst abgelauscht, indem die Ellipsen der bekannten Objecte auf Längs- und Querschnitten fast ausnahmslos dieselbe Stellung zur Schichtung zeigen. Die in Fig. 191 dargestellte Orientirung der Ellipsen würde also beispielsweise folgendermaassen bezeichnet: Querschnitt *p*, Rand *p*, Fläche *p*. Wo statt der Randansicht diametrale Längsschnitte untersucht wurden, ist dementsprechend auch die Bezeichnung »Längsschnitt« statt »Rand« gewählt. Die beiden orthogonalen Stellungen des Objects, welche nach Früherem zur Unterscheidung der Consecutiv- und Alternativlage dienen, sind durch quergestellte (=) oder aufrechte (||) Striche unterschieden, wobei natürlich durchgehends dieselbe Orientirung der Gypsplättchen und die gewöhnliche, diesen Strichen entsprechende Stellung der Polarisationsprismen vorausgesetzt ist. — Da die optischen Axen stets in die Ebene der grössten und kleinsten Elasticitätsaxe fallen, so war es überflüssig, die Lage der Axenebene noch besonders zu bezeichnen. Dagegen ist bei den wenigen Objecten, welche die nöthigen Data geliefert haben, die positive oder negative Beschaffenheit angegeben.

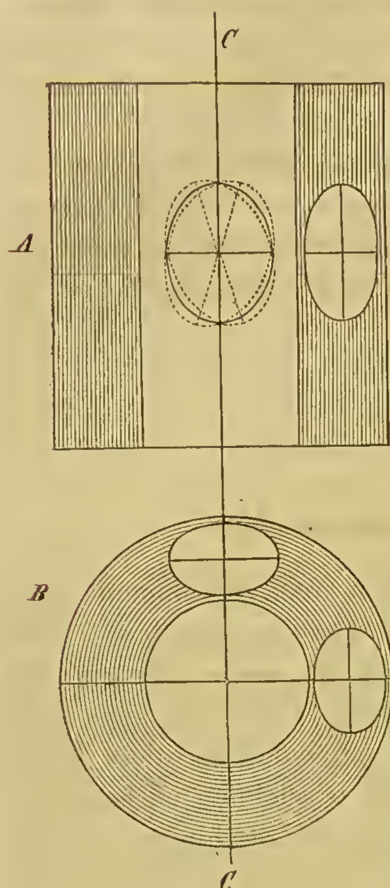


Fig. 191.

Das Elasticitätsellipsoid, auf das sich unsere Angaben beziehen, hat bei gleichgerichteten Axen eine andere Lage, als nach der gewöhnlichen Annahme; es ist mit Rücksicht hierauf ein um 90° gedrehtes oder reciprokes Ellipsoid, indem die kleinste Axe desselben die Stelle der grössten nach gewöhnlicher Darstellung einnimmt, und umgekehrt. (Vgl. hierüber pag. 310).

A. Cylindrische Objecte.

* Eine tangentiale Axe verläuft parallel zur Cylinderaxe.

Caulerpa prolifera Lamourx. Stämmchen. Querschnitt *t*; Längsschnitt *t*; Fläche zweifelhaft, am nämlichen Membranstück stellenweise *t*, an andern Stellen *p*. Hieraus: grosse Axe radial. Nach dem Verhalten beim Drehen zweiaxig-positiv.

Chamaedoris annulata Mont. Querschnitt *p*, Längsschnitt *p*, Fläche *p*. Hieraus: grosse Axe longitudinal, kleine radial, mittlere quer-tangential. Wahrscheinlich optisch negativ; wegen der Unebenheit der Membranfläche nicht mit Sicherheit beobachtet.

Acetabularia mediterranea Lamourx. Stiel. Verhält sich wie *Chamaedoris annulata.*

Valonia Aegagropila Ag. Querschnitt *p*, Längsschnitt *p*, Fläche *t*. Hieraus: grosse Axe quer-tangential, kleine radial, mittlere longitudinal. Optisch positiv; Winkel der optischen Axen c. 80°.

** Die tangentialen Axen stehen schief zur Cylinderaxe.

Stachys spec. Dünnwandige Haare des Stengels. Erzeugen neutrale Längsstreifen in der Nähe des Randes. Die orthogonale Stellung = erweist sich als consecutive, die darauf rechtwinklige || als alternative; folglich Linksdrehung. Winkel φ nach Messungen an halbirten Haaren c. 17°, Linksdrehung bestätigt. In Uebereinstimmung mit Vorstehendem hat man: Querschnitt *t*, Rand *t*, Fläche *p*. Hieraus: kleinste Axe quer zur erwähnten linkswendigen Spirale; das Verhältniss der beiden andern Axen unbekannt.

Trifolium rubens L. Dickwandige Haare des Fruchtkelches. Verhalten sich wie die Haare von *Stachys*: mit neutralen Längsstreifen und Linksdrehung; Winkel φ unbekannt.

Abies excelsa DC. Altes Holz, durch Maceriren in Salpetersäure und chlorsaurem Kali in die einzelnen Zellen zerlegt. *a*) Dünnwandige Holzzellen. Querschnitt *p*, Rand *p*, Fläche *p*. Die Stellung = erweist sich als consecutive, die Stellung || als alternative; folglich Linksdrehung. Winkel φ nach Beobachtungen an halbirten Zellen der Neigung der Poren und (stärkeren) spiraligen Streifen entsprechend, welche letztere jedoch zwischen 0° und c. 45° variirt; Linksdrehung bestätigt. Hieraus: grösste Elasticitätsaxe der Streifung parallel, das Verhältniss der beiden andern Axen im Allgemeinen unbekannt, auf längsgestreiften Zellen jedoch stets die ra-

diale die kleinste. *b*) Dickwandige Zellen. Querschnitt der sogenannten primären Membran *p*, der Verdickungsschichten *p* oder neutral, selten *t*; Rand *p*; Fläche im Gesammteffect *p*. Die orthogonalen Stellungen neutral. Hieraus für die primäre Membran: grösste Axe longitudinal, kleinste radial, mittlere quer-tangential. Die Vergleichung der Schichtenhöhen, welche auf Quer- und Längsschnitten (Randansichten) bestimmte Farben bedingen, ergiebt ferner, dass die beiden tangentialen Axen nur wenig differiren können oder möglicher Weise (da die Flächenansicht der primären Membran für sich allein nicht beobachtet ist) gleich sind. Die Elemente sind also negativ-einaxig oder negativ-zweiaxig mit kleinem Axenwinkel. — Für die Verdickungsschichten ergiebt sich aus Obigem: grösste Axe longitudinal, die beiden andern gleich oder doch, nach der schwachen Wirkung des Querschnittes zu schliessen, nur wenig verschieden; die Elemente folglich positiv-einaxig oder positiv-zweiaxig mit kleinem Axenwinkel.

Cedrus libanotica Lk. *a*) Poröse Holzzellen mit schief stehenden, einer linksläufigen Spirale entsprechenden Poren, deren Neigung gegen die Zellenaxe 45—80° beträgt. Querschnitt *p*, Längsschnitt *p*, Fläche *t*. Linksdrehung. Hieraus: grösste Elasticitätsaxe in der Richtung einer linksläufigen Spirale, die beiden andern unbekannt. *b*) Dickwandige Holzzellen mit zarten linksläufigen Spiralfasern. Querschnitt ?, Rand in den äussern Schichten neutral, in den innern *p*; Fläche *p*. Hieraus: grösste Axe in einer tangentialen Ebene, das Uebrige unbekannt.

Taxus baccata L. Dickwandige Holzzellen mit linksläufigen Spiralfasern und gleich geneigten Poren, Neigung zur Zellenaxe c. 30—40°. Querschnitt *p*, Rand *p*, Fläche *t*. Hieraus: grösste Axe in einer tangentialen Ebene, alles Uebrige unbekannt. — Weitaus die meisten Holzzellen mit rechtsgewundenen, linksgewundenen, steilansteigenden oder niedergedrückten, sowie mit ringförmigen Fasern verhalten sich ebenso; die Poren haben indess durchgehends ungefähr dieselbe Neigung, sie entsprechen einer steilen, linkswendigen Spirale.

Gunnera scabra Ruiz et Pav. Spiralgefässe mit rechtsläufigen niedergedrückten Windungen, deren Neigung zur Axe > 45°. Querschnitt *p*, Rand *p*, Fläche *t*. Consecutivstellung mit Rücksicht auf die Zellenaxe ||, Alternativstellung =, folglich Rechtsdrehung. Die einzelnen Spiralfasern verhalten sich im Querschnitt ziemlich neutral; ihre grösste Elasticitätsaxe ist longitudinal. Hieraus: grösste

Elasticitätsaxe der Gefässe in der Richtung einer niedergedrückten rechtsläufigen Spirale, die beiden andern unbekannt, jedoch wahrscheinlich (nach dem Verhalten der isolirten Spiralfasern zu schliessen) wenig verschieden.

Periderm und Cuticula. Beliebige Durchschnitte *t*. Hieraus: grösste Axe radial.

Muskelfasern. Nach Brücke und eigenen übereinstimmenden Beobachtungen an Käfermuskeln. Längsansicht *p* (longitudinal), Querschnitt neutral, orthogonale Stellungen neutral. Hieraus: grösste Axe der Längsrichtung parallel, die beiden andern gleich oder jedenfalls wenig verschieden; optisch-positiv. (Die gegentheilige Angabe von Mohl beruht auf einem Irrthum.)

B. Kugelige Objecte.

Stärkekörner. Beliebige Durchschnittsansicht *t*, Fläche neutral. Hieraus: Radiale Axe die grösste oder eine mittlere, welche der grössten näher steht als der kleinsten. — Wäre ein Grund vorhanden, für alle doppelbrechenden Elemente die gleiche Orientirung des Elasticitätsellipsoids anzunehmen, so könnte aus obigem Verhalten die positiv-einaxige Natur derselben gefolgert werden.

Inulinkugeln aus den Zellen der Scheibe von *Acetabularia*, durch Liegen in Weingeist entstanden. Durchschnittsansicht *p*, Fläche neutral. Hieraus: radiale Axe die kleinste oder eine mittlere, welche der kleinsten näher steht als der grössten. Möglicherweise einaxig und dann negativ (vgl. Stärkekörner).

VII.

Ueber die Anwendung des Nörrenberg'schen „Polarisationsmikroskops".

Wir haben nachträglich noch dem Nörrenberg'schen »Polarisationsmikroskop«, dessen optische Einrichtung wir hier im Wesentlichen als bekannt voraussetzen, eine kurze Bemerkung zu widmen. 327
Valentin rühmt diesem Instrumente nach, dass es bei Untersuchungen im polarisirten Licht in vielen Fällen zum Ziele führe, wo das

gewöhnliche Mikroskop nicht mehr genüge. Wir können uns dieser Ansicht nicht anschliessen. Unsere Ueberzeugung geht dahin, dass selbst den bestconstruirten Polarisationsapparaten irgend eine hervorragende Bedeutung für mikroskopische Zwecke nicht zukommt. Die Polarisationsapparate sind ihrer Construction gemäss nur in solchen Fällen verwendbar, wo das zu untersuchende Object sich wie eine Krystallplatte verhält, und wo es überdiess das ganze Gesichtsfeld ausfüllt. Die starken Linsen, womit der Nörrenberg'sche Apparat ausgestattet ist, machen es zwar möglich, das Gesichtsfeld bis auf 0,1 m. m. zu verkleinern; allein es bleibt stets Bedingung, dass nur diejenigen Strahlen, welche die doppelbrechende Wirkung des Objects erfahren haben, zum Auge gelangen. Die Linse, welche als Ocular dient, ist nämlich auf eine Ebene eingestellt, welche mit der hintern Brennebene des Objectivs zusammenfällt oder doch nur wenig von ihr absteht. Man sieht also durchs Ocular nicht das reelle Bild des zu untersuchenden Gegenstandes, sondern bloss das System der Interferenzcurven, welche die einfallenden Strahlen in der Kreuzungsebene erzeugen.

Die Anwendbarkeit des Instruments beschränkt sich hienach auf krystallähnliche Objecte oder Theile von Objecten, welche gross genug sind, um sie isolirt beobachten zu können. Als solche sind beispielsweise zu bezeichnen: grössere Durchschnitte durch Hornsubstanz und Chitin, Splitter von Muscheln, Zellmembranen von beträchtlicher Ausdehnung u. dgl. Man legt das Präparat, um alles fremde Licht abzuhalten, auf die feine Oeffnung einer dunkeln Unterlage, wozu sich z. B. ein Stanniolplättchen, das man auf den Objectträger klebt, ganz gut eignet. Die Interferenzcurven, welche alsdann zum Vorschein kommen, stimmen natürlich mit denjenigen überein, welche planplane Krystallplatten im Polarisationsapparate hervorrufen, und da hierüber jedes physikalische Lehrbuch die nöthige Auskunft gibt, so wäre es überflüssig, specieller darauf einzugehen.

328 Die grosse Mehrzahl der mikroskopischen Objecte bleibt für das sogenannte Polarisationsmikroskop unzugänglich. Man betrachte z. B. ein beliebiges Zellgewebe, etwa einen Durchschnitt durch Tannenholz, wo jede Zellwand wie ein entsprechend orientirtes Krystallplättchen wirkt; man wird es vergeblich versuchen, alle Zellwände bis auf eine einzige zuzudecken, um deren Interferenzcurven zu beobachten. Und erst die cylindrischen und kugeligen Gebilde,

deren krystallähnliche Elemente noch viel kleiner sind als bei den erwähnten prismatischen Holzzellen!

Die Beobachtung der Zellgewebe im Polarisationsapparat lässt nur dann einen praktischen Erfolg hoffen, wenn gewisse Wandungen so vorwiegend vertreten sind, dass sie auf parallel zu denselben geführten Durchschnitten den optischen Effect bedingen, d. h. Erscheinungen hervorrufen, die von den übrigen Wänden nicht wesentlich gestört werden.

Achter Abschnitt.

Mikrophysik.

I.

Flüssige Körper.

1. Erkennung und Unterscheidung flüssiger Körper.

329 Während man im gewöhnlichen Leben den Aggregatzustand der Körper leicht und sicher durch unmittelbare Wahrnehmung erkennt, erfordert es bei mikroskopischen Untersuchungen schon einige Vorsicht, um in schwierigeren Fällen feste Körper von flüssigen und diese von luftförmigen zu unterscheiden. Der praktische Mikroskopiker weiss, dass es nicht immer leicht ist zu sagen, ob z. B. eine Spalte in einer festen Masse mit einer Flüssigkeit oder mit Luft gefüllt sei, ob kugelige in Wasser befindliche Gebilde aus einer festen oder ölartigen Substanz bestehen, oder ob ein scheinbarer Hohlraum in einem festen Körper nur als stark aufgequollener und daher gallertartiger Theil desselben oder als ein mit Wasser gefüllter Raum zu deuten sei u. dgl. Es ist in solchen Fällen nothwendig, die fraglichen Objecte genauer zu untersuchen und auf indirectem Wege zu ermitteln, was sich direct nicht entscheiden lässt.

Die flüssigen Körper nehmen bekanntlich in einem flüssigen Medium, mit dem sie sich nicht mischen, Kugelgestalt an, so z. B. Oel in Wasser, Luft in Wasser etc. Sie lassen sich nun freilich an dieser Eigenschaft keineswegs immer sicher erkennen, da die Adhäsion benachbarter Gegenstände modificirend auf die hydrostatischen Kräfte einwirkt, sodass z. B. ein Oeltropfen ganz abgeplattet oder in eine feine Spitze ausgezogen erscheinen kann. Es steht aber auch die weitere Eigenschaft damit im Zusammenhang, dass Flüssigkeitstropfen jeder Kraft, welche nur auf einen Theil der Oberfläche wirkt, also auch

jedem mechanischen Druck nachgeben. Wenn es daher möglich ist, einen mechanischen Druck mittelst der Nadel und des Deckgläschens auf ein zu untersuchendes Object auszuüben, so sind Formveränderungen, welche dabei eintreten, ein sicheres Merkmal der flüssigen oder halbflüssigen Consistenz, während das Nichteintreten derselben auf eine feste Masse deutet. Im ersteren Fall lässt sich sogar, wenn der Druck von Zeit zu Zeit plötzlich nachlässt, aus dem rascheren oder langsameren Zurückkehren des Objects zur ursprüglichen Gestalt annähernd der Grad des Flüssigseins bestimmen. Ebenso gibt sich im zweiten Fall die grössere oder geringere Sprödigkeit der Substanz durch Zerbröckeln, Bildung von Rissen (z. B. bei Stärkekörnern) zu erkennen.

Eine fernere gemeinsame Eigenschaft der Flüssigkeiten, welche indess auch manchen festen Körpern zukommt, besteht darin, dass sie nie doppelbrechend sind. Als Kriterium kann dieselbe jedoch nur insofern gelten, als Medien, welche im polarisirten Licht sich als doppelbrechend erweisen, jedenfalls nicht flüssig sein können.

Handelt es sich um die Frage, ob eine scheinbare Flüssigkeit 330
wirklich als Lösung zu betrachten sei, so ist zunächst festzuhalten, dass jede wässerige Lösung, welche mit dem Wasser des Präparates in unmittelbarer Berührung steht, sich nach und nach gleichmässig in demselben verbreitet und folglich nie durch eine scharfe Grenzlinie von demselben geschieden sein kann. So erweisen sich z. B. die rothen und blauen Pflanzensäfte als ächte Lösungen, weil dieselben aus angeschnittenen oder irgendwo geöffneten Zellen rasch ausfliessen und spurlos im umgebenden Medium verschwinden, während verdünnter Stärkekleister, obschon er unter dem Mikroskop eine klare Flüssigkeit zu sein scheint, sich nach der Blaufärbung mit Jod sogleich deutlich von dem zugesetzten Wasser abgrenzt. Ebenso verhalten sich auch die rothen und violetten Wolken, welche gewisse Flechtenfarbstoffe nach Zusatz von Kali bilden; sie folgen den Strömungen des Wassers, ohne sich je gleichmässig in letzterem zu vertheilen.

Man darf übrigens nicht vergessen, dass Lösungen, welche den eben gestellten Anforderungen einer gleichmässigen Vertheilung in Wasser, ohne dass die Theilchen mikroskopisch wahrnehmbar wären, entsprechen, sich desswegen doch diosmotisch ungleich verhalten können. Die einen diosmiren nämlich durch thierische Häute oder Zellmembranen, die anderen sind diosmotisch unwirksam. Zu den

letzteren ist z. B. die von Wasser, Schwefelsäure, Kupferoxydammoniak etc. gelöste Cellulose zu rechnen, welche sich im Uebrigen in jeder Hinsicht wie eine ächte Lösung verhält.

Die Gleichmässigkeit der Vertheilung einer gelösten Substanz im lösenden Medium ist eine nothwendige Folge der überall gleichen Anziehung, welche das letztere auf die Substanztheilchen ausübt. Eine Schicht von Kochsalz oder eine gesättigte Kochsalzlösung, welche den Boden eines mit Wasser gefüllten Cylinders bedeckt, muss z. B. nothwendig in das darüber befindliche Wasser diffundiren: die Salztheilchen wandern langsam von unten nach oben, die Wassertheilchen in entsprechender Zahl von oben nach unten, und es tritt nicht eher Gleichgewicht ein, als bis in jedem Punkte der Flüssigkeit dasselbe Verhältniss zwischen Salz und Wasser hergestellt ist. Die gegenseitige Anziehung überwindet also den Einfluss der Schwere; sie lässt überhaupt in Lösungen die Differenzen des specifischen Gewichts heterogener Stoffe nicht zur Geltung kommen.

Für die Praxis dürfte diese letztere Eigenschaft in den meisten Fällen das brauchbarste Kriterium liefern. Jede Flüssigkeit, welche unter dem Mikroskope homogen erscheint und nach längerem Stehen oder unter dem Einfluss der Centrifugalkraft homogen bleibt, d. h. keinerlei Verschiedenheiten der Zusammensetzung erkennen lässt, ist als Lösung zu betrachten. Eine solche Lösung kann aber immer noch diosmotisch wirksam oder diosmotisch unwirksam sein.

331 Die Unterscheidung tropfbarflüssiger Körper von elastischflüssigen ist keineswegs immer so leicht, als man sichs gewöhnlich vorstellt. Sie ist ganz allgemein nur dann möglich, wenn sowohl die Form des fraglichen Körpers, als auch das Brechungsvermögen des umgebenden Mediums annähernd bekannt ist. Ein Wassertropfen in Schwefelkohlenstoff gewährt ungefähr dasselbe Bild, wie eine Luftblase in Wasser, und eine platt gedrückte Luftblase in einer dichten Substanz wiederum ungefähr dasselbe, wie eine etwas weniger abgeplattete Wasserkugel. Linsenförmige Hohlräume in Stärkekörnern, Krystallen etc. sehen von der Fläche gesehen röthlich, im Profil dagegen schwarz aus, sie mögen mit Luft oder mit Wasser gefüllt sein.

In Fig. 192 sind beispielsweise die beiden Ansichten eines Stärkekorns aus den trockenen Saamenlappen von Pisum sativum dargestellt, welche das Gesagte veranschaulichen. Der unregelmässig-

linsenförmige Hohlraum desselben erscheint vollkommen dunkel, wenn man die schmale Durchschnittsansicht desselben (*B*) beobachtet, in der Flächenansicht (*A*) dagegen röthlich und schwach conturirt; er gewährt hier das Bild einer weicheren Substanz, umgeben von einer dichteren Hülle.

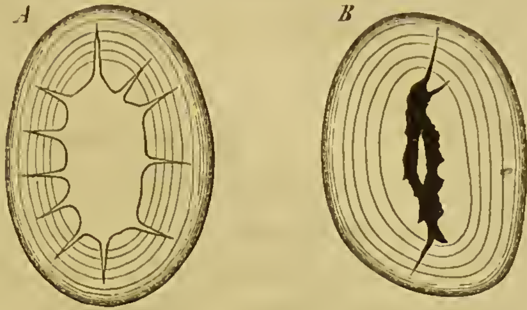


Fig. 192.

Diese Beispiele zeigen zur Genüge, dass das mikroskopische Bild für sich allein über den Inhalt eines gegebenen Raumes nicht unmittelbar Aufschluss giebt. Die Irrthümer, welche selbst geübte Mikroskopiker in der Deutung des Gesehenen sich zu Schulden kommen liessen, belehren uns auch, dass Täuschungen oft schwer zu vermeiden sind. Kützing*) hielt z. B. den Kern der Stärkekörner für eine mit Luft gefüllte Vacuole, Schleiden**) bezeichnete denselben »mit völliger Gewissheit« als eine Höhlung in der Substanz, und auch Nägeli huldigte dieser Ansicht, bis er sich später durch genaueres Studium der Stärkekörner überzeugte, dass der unveränderte Kern stets aus sehr weicher Stärke besteht. Eine ähnliche Meinungsverschiedenheit herrschte auch mit Rücksicht auf die Natur der wasserreichen Schichten, welche bekanntlich zuweilen den täuschenden Eindruck von Spalten gewähren.***)

Dem Beobachter ist bei Fragen dieser Art immer sehr zu empfehlen, sorgfältige Vergleichungen mit Hohlräumen anzustellen, deren Inhalt er kennt, wie denn überhaupt das Anfertigen künstlicher Präparate von bekannter Beschaffenheit immer die zuverlässigsten Anhaltspunkte zur richtigen Deutung des Gesehenen liefert. Wie eine mit Wasser gefüllte Spalte in einem Krystall, einem Stärkekorn etc. aussieht, darüber orientirt man sich stets am besten, wenn man die betreffenden Körper unter Wasser zerdrückt und so Spalten hervorruft, welche natürlich nur Wasser enthalten können. Man überzeugt sich alsdann, dass solche Spalten oft ganz schwarz aussehen, als wären sie mit Luft gefüllt. Ebenso lässt sich der Eindruck, den kleine wasserführende Räume in einem ölartigen Medium hervor-

*) Grundzüge der philos. Bot. I. pag. 262.

**) Grundzüge der wiss. Bot. 3. Aufl. I. pag. 177.

***) Vgl. hierüber Nägeli, die Stärkek. pag. 54.

bringen, am sichersten bestimmen, wenn man ein Tröpfchen Wasser auf dem Objectträger mit einem grösseren Oeltropfen mischt und so ähnliche Räume künstlich hervorbringt und dann untersucht. Solche Proben können auch den geübten Mikroskopiker vor Irrthümern bewahren.

2. Die Capillaritätserscheinungen.

332 Die Capillaritätserscheinungen, welche man direct unter dem Mikroskop beobachtet, bieten für Denjenigen, welcher das Phänomen aus den Lehrbüchern der Physik kennt, so gut wie nichts Neues. Es mag daher genügen, wenn wir auf diesen Punkt nur in aller Kürze aufmerksam machen.

Da der Raum zwischen Objectträger und Deckglas ein capillarer ist, so bewegt sich ein Flüssigkeitstropfen in demselben stets nach der Stelle hin, wo die Gläser genähert sind, während eine Gasblase die entgegengesetzte Bewegung zeigt. Dasselbe gilt natürlich auch von horizontal gestellten Röhren (Gefässen, Kanälen etc.). Wo die Luft vollständig daraus entweichen kann, füllen sich solche Räume immer sehr rasch mit Flüssigkeit; wo sie nicht entweichen kann dagegen nur insoweit, als das eingeschlossene Gas von der Flüssigkeit absorbirt wird, was in den meisten Fällen ziemlich langsam von statten geht. Das Letztere beobachtet man z. B. bei den Zellhöhlungen ausgetrockneter Gewebe, den Porenhöfen des Tannenholzes etc.

333 Von grösserem Belange ist die Frage, ob die bekannten Gesetze der Capillarität auch für mikroskopisch enge Röhrchen bis zu den äussersten Grenzen der Wahrnehmbarkeit Geltung haben. Die Höhe, bis zu welcher Flüssigkeiten in Capillarröhren emporsteigen, steht bekanntlich, soweit die Beobachtungen reichen, im umgekehrten Verhältniss zum Durchmesser. Für Wasser beträgt dieselbe bei einer Röhrenweite von 1 m.m. 30 m.m. und bei einer Weite von 0,1 m.m. 300 m.m.. Die Rechnung ergiebt hienach schon für Capillaren von 1 Mik. im Durchmesser eine Steighöhe von 30 Metern und führt somit folgerichtig zu der Annahme, dass die ungleich kleineren Molecularinterstitien der Membranen, sofern sie sich dem nämlichen Gesetze fügen, sich jedenfalls bis in die höchsten Spitzen der Bäume mit Wasser imbibiren müssen.

Um zu erfahren, ob diese Folgerungen wenigstens bis zu mikroskopisch kleinen Grössen mit der Wirklichkeit übereinstimmen, stellten wir einige Experimente mit fein ausgezogenen Glasröhrchen

an, deren Lumina zwischen 1 — 10 Mik. im Durchmesser variirten. Die Aufgabe war, wenn auch nicht die Steighöhe, so doch die Kraft der capillaren Ascension oder genauer die Widerstände, welche die capillaren Wassersäulen in solchen Röhrchen einem auf den Meniscus wirkenden Drucke entgegensetzen, direct zu messen. Die Röhrchen wurden zu diesem Behufe mit Wasser gefüllt, dann mittelst eines Korkes in das umgebogene Ende A einer langen Röhre (Fig. 193) so eingefügt, dass die feine Spitze nach innen gekehrt war, und hierauf sorgfältig verkittet. Wurde nun in den langen Schenkel B Quecksilber eingegossen, welches die Luft unterhalb A comprimirte, so musste sich zeigen, auf welche Höhe x der Druck gesteigert werden konnte, bis das Wasser aus der Capillarröhre verdrängt und durch Luft ersetzt wurde. Es blieb alsdann nur noch übrig, diese Höhe mit dem specifischen Gewicht des Quecksilbers = 13,6 zu multipliciren, um das Maass der capillaren Anziehung, sofern dasselbe mit dem gemessenen Widerstande übereinstimmt, in Wasser auszudrücken.

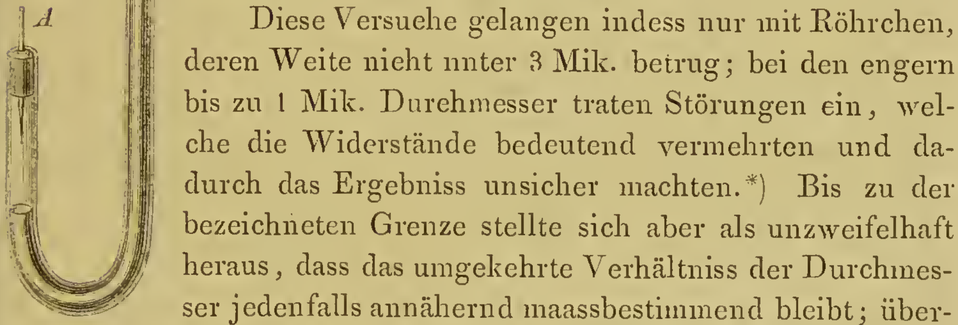


Fig. 193.

Diese Versuche gelangen indess nur mit Röhrchen, deren Weite nicht unter 3 Mik. betrug; bei den engern bis zu 1 Mik. Durchmesser traten Störungen ein, welche die Widerstände bedeutend vermehrten und dadurch das Ergebniss unsicher machten.*) Bis zu der bezeichneten Grenze stellte sich aber als unzweifelhaft heraus, dass das umgekehrte Verhältniss der Durchmesser jedenfalls annähernd maassbestimmend bleibt; überdiess ist sicher, dass die Capillaranziehung auch über diese Grenze hinaus in irgend einem Verhältniss zunimmt. Diess geht auch aus den bekannten Versuchen von Jamin hervor, wonach die Kraft, welche in festgestampftem Pulver von Zinkoxyd oder Stärke wirksam wird, eine Höhe von 4 — 6 Atmosphären erreicht.

Um indess noch weitere Anhaltspunkte zu gewinnen und für die 334
Molecularinterstitien der Membranen wenigstens eine untere Grenze

*) Näheres hierüber findet man in den Sitzgsber. der k. bayer. Akad. der Wiss. zu München, 1866, wo diese und andere von uns angestellten Versuche über Capillarwirkungen mitgetheilt sind.

in directer Weise zu ermitteln, wurde bei einem neuen Versuch die Capillarröhre durch einen aus frischem Tannenholz quer*) herausgeschnittenen Pfropf ersetzt, welcher mit Wasser durchtränkt und ebenfalls sorgfältig eingekittet wurde, jedoch so, dass die beiden Endflächen vollständig frei waren. Die Höhe der Quecksilbersäule wurde bei diesem Versuche allmählich bis zu 2250 m. m. gesteigert, was in Wasser ausgedrückt 30,75 Meter oder 102,5 badische Fuss ausmacht, ohne dass die im kurzen Schenkel eingeschlossene Luft durch den Pfropf herausgepresst worden wäre; das Niveau des Quecksilbers war vielmehr nach mehreren Wochen noch durchaus unverändert. Damit ist aber bewiesen, dass die Capillaranziehung die Zellwandungen wirklich bis zu einer Höhe von wenigstens 100 Fuss mit Wasser versehen kann, natürlich unter der Voraussetzung, dass der Bedarf die unter den gegebenen Verhältnissen mögliche Zufuhr nicht übersteige und dass keine andern Kräfte der Capillaranziehung entgegenwirken.

335 Es ist nun ohne Weiteres klar, dass, wenn im obern Theil eines Capillarröhrensystems Wasser durch Verdunstung verloren geht, die Capillaranziehung diese Verluste durch von unten nachströmende Flüssigkeit sofort zu ersetzen strebt. Und zwar wird sich dieses Bestreben in den einzelnen Theilen des Systems genau auf dieselbe Höhe erstrecken, bis zu welcher das Wasser in den leer gedachten Capillarröhren steigen würde. Daraus folgt nun zwar, dass die Capillaranziehung in Verbindung mit der Transspiration eine continuirliche Strömung in der Richtung von unten nach oben, oder ganz allgemein nach den Verbrauchsstellen hin, zu erzeugen vermag; allein es ist einleuchtend, dass diess nur in solchen Fällen wirklich geschieht, wo die erforderliche Strömung nicht durch andere Kräfte, die den Wasserbedarf nach allen Seiten hin decken, dauernd unterhalten wird. Steht z. B. die Flüssigkeit in einem Capillarröhrensystem unter einem gewissen Druck, welcher die concaven Menisken in den Enden der

*) Versuche, welche mit längs herausgeschnittenen Pfropfen angestellt wurden, wobei also die Holzzellen eine der Röhrenaxe parallele Lage hatten, misslangen, indem die Luft schon durch eine Quecksilbersäule von 200—400 m. m. ziemlich rasch herausgepresst wurde. Es konnte diess nur daher rühren, dass die Poren der älteren Holzzellen bereits wirkliche Löcher geworden, oder dass andere gröbliche Zwischenräume vorhanden waren. Desshalb wurde der Versuch mit einem quer herausgeschnittenen Pfropf, welcher aus innerem Rindenparenchym, Cambium und jungem Holz bestand, wiederholt.

Röhrchen ebnet oder nach aussen wölbt, so ist es selbstverständlich dieser Druck, welcher die Strömung der Flüssigkeit verursacht, und die Capillarität bleibt ausser Wirkung.

Der Ersatz, den die Capillarität zu leisten im Stande ist, hängt überdiess unter allen Umständen von dem Widerstande ab, welchen die unter den gegebenen Verhältnissen wirksamen Kräfte zu überwinden haben. Es ist von vorne herein denkbar, dass das Wasserquantum, welches an den Verbrauchsstätten in der Zeiteinheit verloren geht, grösser ist als dasjenige, welches die capillaren Kräfte in derselben Zeit zu liefern vermögen, und in einem solchen Falle müsste natürlich das Wasserniveau allmählich sinken, bis die in Folge der zunehmenden Spannung der Dämpfe verlangsamte Verdunstung der gleichzeitig rascher gewordenen Zufuhr das Gleichgewicht hält. Unter welchen arithmetisch bestimmten Bedingungen aber für ein gegebenes System dieses Gleichgewicht besteht, kann selbstverständlich nur durch den Versuch ermittelt werden.

Die experimentelle Prüfung dieser Frage liefert nun in der That das Ergebniss, dass die Verdunstung in feinen Capillarröhren schon in verhältnissmässig geringer Höhe die Wasserzufuhr überwiegt. Unter der Luftpumpe kann man diess sogar, wenn auch nicht gerade in auffallender Weise, schon bei fein ausgezogenen Glasröhren beobachten: Ist z. B. der Durchmesser einer solchen Röhre = 0,12 m. m., so steigt das Wasser nach vorher gegangener Befeuchtung mit einer Geschwindigkeit in die Höhe, welche für die ersten 60 — 70 m. m. durchschnittlich c. 10 — 12 m. m. per Secunde beträgt, für die letzten $1\frac{1}{2}$ — 2 m. m. aber auf c. $\frac{1}{60}$ m. m., also auf 1 m. m. per Minute heruntersinkt. In derselben Röhre, wenn sie bis oben mit Wasser gefüllt und unten geschlossen ist, bedingt aber die Verdunstung unter der Luftpumpe, bei einer Temperatur von 6° R. und einem Manometerstande von 1 — 2 m. m., ein gleichmässiges Sinken des Niveaus von 1,5 m. m. per Minute. Wenn also Verdunstung und Capillarität gleichzeitig wirksam sind, wie es bei der in Wasser gestellten Röhre der Fall ist, so gewinnt die Verdunstung für den obersten Theil der Wassersäule nothwendig die Oberhand: das Niveau muss sinken, bis die aufwärtsgehende Strömung die Geschwindigkeit von 1,5 m. m. per Minute erreicht hat. Erwägt man nun, dass die Verdunstung um so rascher erfolgt, je feiner die Capillarröhre,*) so sieht man ohne Weiteres ein,

*) Drei Capillarröhren von 900, 385 und 120 Mik. Weite, welche bis oben mit Wasser gefüllt waren, verdunsteten unter der Luftpumpe, bei $1\frac{1}{2}$ — 2 m. m.

dass die Niveauveränderungen, welche jene hervorruft, in grösseren Steighöhen, wo die Geschwindigkeit des Aufsteigens sehr gering ist, in sehr augenfälliger Weise hervortreten müssen.

Viel geeigneter zu solchen Versuchen, als Glasröhren, sind indess feine Capillarsysteme, wie man sie erhält, wenn man weitere Röhren mit unlöslichen gepulverten Stoffen vollstopft. Wir verwendeten hiezu die käufliche Weizenstärke, und um ein gleichmässig mit Flüssigkeit durchdrungenes Capillarsystem zu erhalten, rührten wir dieselbe mit Wasser zu einem dünnflüssigen Brei an, welcher letztere in eine unten mit einem porösen Pfropf verschlossene Barometerröhre von c. 5 m. m. im Durchmesser eingefüllt wurde. Nachdem die Stärke sich etwas gesetzt hatte, wurde das darüber befindliche Wasser mittelst der Pipette entfernt und hierauf ein neues Quantum Stärkebrei nachgegossen. Zuletzt wurde der Röhre ein quadratisches Brettchen, das nach Art eines Schachteldeckels mit einer Randeinfassung versehen war, aufgesetzt und ebenfalls mit Stärkebrei übergossen. Der dünne Stärkecylinder war auf diese Weise mit einer verdunstenden Schicht von c. 1 Quadratdecimeter Fläche und 6 — 10 m. m. Dicke in Verbindung gebracht.

Der so hergestellte Apparat wurde jetzt mit dem unteren Ende in ein Gefäss mit Wasser gestellt und bei gewöhnlicher Zimmertemperatur stehen gelassen. Das Resultat war entscheidend. Schon am andern Tage fühlte sich die Oberfläche der verdunstenden Schicht ziemlich trocken an und bald darauf bildeten sich zahlreiche, netzförmig anastomosirende Risse. Die ganze Schicht trocknete nach und nach vollständig aus, und auch im obern Theil des Stärkecylinders zeigten sich deutliche Spuren der Trockenheit. Kein Zweifel, dass hier die Zufuhr gegenüber den durch die Verdunstung verursachten Verlusten verschwindend klein war.

Die Capillarität ist also nicht im Stande, ein System von capillaren Räumen, welche nach oben in eine verdunstende Fläche ausmünden, auch nur bis auf einige Fuss über das Niveau des umgebenden

---

Barometerstand und 6° R., während 10 Minuten 3 1/6, 8 und 14 m. m.. Die Verdunstungsmengen verhielten sich also wie 1 : 2,52 : 4,42, die Durchmesser umgekehrt wie 1 : 2,33 : 7,5. Die Verdunstung findet übrigens um so langsamer statt, je länger der bereits entleerte Theil der Capillarröhre. Schon bei einem Abstande von 15 — 20 m. m. vom obern Ende erreicht die Spannkraft der Wasserdämpfe einen solchen Grad, dass sie einer Wassersäule von 70 — 80 m. m. das Gleichgewicht hält und folglich in unten offenen Röhren das Niveau um eine entsprechende Grösse rückwärts drängt. Näheres hierüber in den oben citirten Sitzungsber. der k. bayer. Akad. d. Wiss. zu München (1866).

Wassers hinauf im gefüllten Zustande zu erhalten, selbst dann nicht, wenn sie — wie diess in unserem Falle angenommen werden darf — mit einer Kraft von 4—6 Atmosphären wirksam ist. Die Folgerungen, welche sich hieraus für die Pflanze ergeben, liegen nahe. Ein Baum, in welchem wir uns ausser der Capillaranziehung keine andern Kräfte thätig denken, muss von oben nach unten austrocknen, bis endlich der aufsteigende Wasserstrom die durch Verdunstung herbeigeführten Verluste zu ersetzen vermag.

3. Spannung der Gase und Flüssigkeiten.

Wenn sich Gase in Flüssigkeiten entwickeln oder von aussen in 336
dieselben eingeführt werden, so sind die Spannungen, welche sie annehmen, durch diejenige der Flüssigkeit und durch die ihrer Abgrenzungsfläche entsprechende Capillaranziehung bestimmt. Eine kugelförmige Luftblase von 1 m. m. Durchmesser, welche in einem offenen Gefäss schwebend gedacht wird, muss beispielsweise eine positive Spannung besitzen, welche die des umgebenden Wassers und der äussern Luft um den Druck einer Wassersäule von 30 m. m. (der Steighöhe für eine Capillarröhre von 1 m. m. Weite) übertrifft. Ebenso muss ein entsprechender Ueberschuss in Zellen vorhanden sein, welche in einem Theil ihres Lumens Luft und in dem andern Saft enthalten, vorausgesetzt, dass diesem letzteren Theil der erforderliche Zufluss von aussen gesichert sei, so dass die capillaren Kräfte ungeschwächt zur Wirkung kommen.

Stellen wir uns vor, ein System von Capillarräumen sei zunächst ganz mit Wasser durchdrungen, so nimmt offenbar die Spannung der Flüssigkeit, ähnlich wie im Barometer, in arithmetischer Progression von unten nach oben ab. Bezeichnet man also die Spannung einer freien Wasseroberfläche, auf welcher der Druck einer Atmosphäre lastet, mit 0, so sinkt sie im Capillarsystem bei c. 10 Meter Steighöhe auf — 1 Atmosphäre herunter und nimmt sodann in grössern Höhen diesen letztern proportionale Werthe an, welche beispielsweise für 20 Meter = — 2, für 30 = — 3, für 40 = — 4 Atmosphären betragen u. s. f. Führen wir jetzt in Gedanken kleine Luftbläschen in die Flüssigkeit ein, so zeigen natürlich auch diese eine von unten nach oben abnehmende Spannung, allein die letztere ist durchgehends um den oben bezeichneten, durch den Krümmungshalbmesser bedingten Ueberschuss grösser, als die der angrenzenden Flüssigkeit; sie kann dieselbe, wenn die wirksamen Menisken hinreichend klein sind, um eine volle Atmosphäre und mehr überwiegen.

Diese capillaren Spannungsdifferenzen zwischen Luft und Flüssigkeit müssen in der lebenden Pflanze nothwendig hie und da vorkommen; dieselben beschränken sich aber, wie leicht einzusehen, auf diejenigen grössern Capillarräume, in welchen Luft und Wasser neben einander enthalten sind, d. h. auf die Höhlungen der Zellen. Membranen und Zwischenzellräume kommen hier selbstverständlich nicht in Betracht, erstere, weil sie keine Luft, letztere, weil sie kein Wasser führen. Und da auch die Zellhöhlungen der eben erwähnten Bedingung selten genügen, da sie in der Regel ganz mit Luft oder ganz mit Zellsaft gefüllt sind; da überdiess der Durchmesser derselben, wenigstens bei höhern Pflanzen und soweit sie überhaupt je Luft enthalten, ein sehr beträchtlicher ist, so ergiebt sich hieraus, dass jene Spannungsdifferenzen nur selten vorkommen und auch dann nur einen kleinen Bruchtheil einer Atmosphäre betragen können.

Uebrigens ist klar, dass ein ins Gewebe eingesenktes oder auf einen Querschnitt aufgesetztes Manometer nur die Spannung der Flüssigkeit, nicht die der eingeschlossenen oder beim Aufsetzen frei werdenden Luftbläschen anzeigt und auch jene nur dann, wenn ein zur Uebertragung der Spannung auf das Manometer hinreichendes Flüssigkeitsquantum bei gleichbleibendem Drucke in Bewegung gesetzt wird.

337 Sind Gase und Flüssigkeiten durch permeable Membranen von einander getrennt, so besteht zwar das Bestreben nach Ausgleichung der Spannungen, die capillaren Wirkungen abgerechnet, auch in diesem Falle. Steht z. B. die Flüssigkeit unter einem höhern Druck als das Gas, so wird sie durch die trennende Scheidewand so lange hindurchströmen, bis der Gegendruck nahezu gleich ist, während im umgekehrten Falle das Gas, sofern es absorptionsfähig ist, theilweise in die Flüssigkeit übergeht. Da indess solche Ausgleichungen, wie alle Diffusionsvorgänge, langsam stattfinden, so mögen vorübergehend Differenzen vorkommen, die eine beträchtliche Höhe erreichen. Es kann sogar der Fall eintreten, dass Gasblasen, die in einem geschlossenen Raume entstehen, eine Spannung von mehreren Atmosphären entwickeln, so dass sie nach dem Auflösen oder Oeffnen der Hülle sich auf ein Mehrfaches ihres ursprünglichen Volumens ausdehnen. Solche Spannungen kommen z. B. in Stärkekörnern, welche mit concentrirter Schwefelsäure oder Aetzkalilösung behandelt

wurden, hie und da vor,*) sie bilden aber immerhin eine seltene Ausnahme.

Die Spannungen, welche nach den bis jetzt hierüber angestellten Beobachtungen in Geweben vorkommen, differiren in der Regel, die Zeit des Thränens abgerechnet, nur wenig vom äussern Luftdruck; sie sind bald etwas grösser, bald auch etwas kleiner als derselbe. Diese geringen Differenzen, selbst in den höchsten baumartigen Gewächsen, haben auf den ersten Blick fast etwas Befremdendes; sie sind unerklärlich, wenn man von der Vorstellung ausgeht, dass die Zellsäfte durch die Wurzeln wie durch ein Pumpwerk nach oben getrieben oder durch capillare Kräfte gehoben werden, da im ersten Falle hohe positive Spannungen in den untern Theilen, im zweiten Falle hohe negative Spannungen in den obern Theilen der Pflanze vorhanden sein müssten. Dieselben werden aber sogleich erklärlich, wenn man die treibenden Kräfte, wie wir unten als nothwendig darlegen werden, in die Wandungen aller leitenden Zellen verlegt. In diesem Falle erhält jede einzelne Flüssigkeitsschicht des steigenden Saftstroms ihren besondern Impuls, ganz so, als ob sie in einer feinen Röhre durch die Ruderschläge eines Flimmerepitheliums gehoben würde. Ein hydrostatischer Druck der höheren Schichten auf die tiefern und die hier eingeschlossene Luft findet demzufolge nicht statt; es entwickeln sich höchstens kleine Spannungen in Folge der ungleich raschen Bewegung verschiedener Schichten. Rücken z. B. die oberen Schichten langsamer vorwärts als die unteren, so wird die zwischenliegende Flüssigkeit positiv, im umgekehrten Falle dagegen negativ gespannt. Eine eingeschlossene Luftblase würde sich im ersten Fall etwas verkleinern, im zweiten vergrössern, und ein in die Strömung eingetauchtes Manometer müsste um entsprechende Grössen steigen und fallen. 338

Die localen Spannungen, welche die sogleich näher zu besprechenden endosmotischen Verhältnisse und die Erscheinungen des »Thränens« hervorrufen, bilden eine Frage für sich. Erstere können, wie später gezeigt werden wird, nur einen kleinen Bruchtheil einer Atmosphäre ausmachen. Von grösserem Belang ist dagegen der Druck, welchen der zur Zeit des »Thränens« in die Gefässe hineingepresste Saft auf das umgebende Gewebe ausübt. Da nämlich die 339

*) Man vergleiche Nägeli, die Stärkekörner pag. 158.

Gefässe, wenn sie überhaupt eine besondere stromerzeugende Kraft besitzen, jedenfalls nicht in dem Maasse damit ausgestattet sind, wie es das verhältnissmässig grosse Lumen derselben erfordern würde, so versetzt die in ihnen enthaltene Wassersäule nach und nach die ganze Umgebung in eine der Höhe entsprechende Spannung, die jedoch selbstverständlich mit der Entleerung ebenso allmählich wieder auf Null sinkt. Wie stark diese Spannung werden kann, lässt sich nach den von Hales und Anderen gemessenen Gesammtspannungen ungefähr beurtheilen; directe Beobachtungen hierüber hat bis jetzt, soviel wir wissen, Niemand angestellt.

Die mikroskopische Bestimmung der Spannungen ist in der Regel mit unübersteiglichen Hindernissen verknüpft; sie ist selbstverständlich nur da möglich, wo es gelingt, die Ausdehnung der im Gewebe eingeschlossenen Luft beim Liegenlassen eines frischen Präparates unter dem Mikroskop zu beobachten. In den meisten Fällen bleiben daher Beobachtungen dieser Art der Experimentalphysiologie vorbehalten.

340 Soweit die Endosmose den hydrostatischen Druck des wässerigen Zellsaftes bedingt, ist derselbe in Zellen, die von Wasser umspült sind, voraussichtlich immer etwas stärker als eine Atmosphäre. Es ist diess eine nothwendige Folge der Wasseraufnahme, welche die diosmotische Wirkung des Zellinhaltes, der sich ja immer wie eine verdünnte Lösung verhält, hervorruft. Die Wandung dehnt sich dabei so lange aus, bis sie eine Spannkraft erreicht hat, die der diosmotischen Kraft und dem dadurch bedingten hydrostatischen Druck das Gleichgewicht hält.

Von dem Vorhandensein eines solchen Druckes überzeugt man sich, wenn man ein beliebiges Stück eines saftigen Gewebes unter dem Mikroskop beobachtet. Die Wandungen, welche von dem umgebenden Wasser bespült werden, wölben sich alsdann alle nach aussen, während sie im unversehrten Gewebe geradlinig waren. Besonders schön tritt diese Erscheinung an den Scheidewänden mancher Algenfäden, z. B. der Spirogyren hervor, wenn dieselben durch

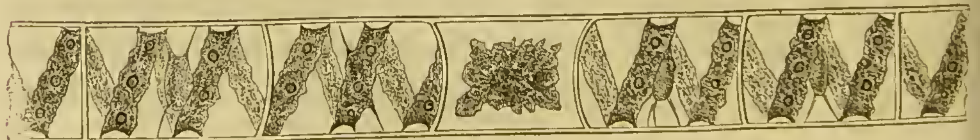


Fig. 191.

einen quer geführten Schnitt blossgelegt, oder wenn einzelne Zellen verletzt wurden (Fig. 194, *a* eine verletzte oder abgestorbene Zelle).

Aehnliche Spannungsverhältnisse kommen aber auch bei Zellen und Geweben vor, welche theilweise von Luft, statt Wasser, umgeben sind, natürlich unter der Voraussetzung, dass die Verluste, welche die Verdunstung veranlasst, durch reichliche Wasserzufuhr fortwährend ersetzt werden. Im entgegengesetzten Falle nimmt die Spannung allmählich ab und schlägt auch wohl in die entgegengesetzte um, wie man das an Haaren beobachtet, welche durch den vorwiegenden Druck der atmosphärischen Luft eingestülpt oder zusammengefaltet werden.

Man kann diese Umkehrung der Spannung auch künstlich hervorrufen, wenn man die Zellen in Zuckerlösung oder Glycerin, überhaupt in ein Medium bringt, welches eine starke Exosmose bewirkt. Eine Formveränderung der Zelle ist indess nur dann damit verbunden, wenn die Membran dem von aussen wirkenden Druck nicht zu widerstehen vermag, was übrigens bei dünnen Membranen und rascher Einwirkung der Zuckerlösung der gewöhnliche Fall ist.

Jede Zelle hat in Folge der Spannung, welche der hydrostatische **341**
Druck des Inhaltes hervorruft, das Bestreben, eine bestimmte Form anzunehmen. Eine eiförmige Zelle zeigt z. B., wenn sie sich frei ausdehnen kann, ein bestimmtes Verhältniss zwischen Längs- und Querdurchmesser. Wirkt in der einen oder andern Richtung eine Kraft entgegen, welche die freie Ausdehnung verhindert, so wird jenes Verhältniss in der Art gestört, dass die Zelle in der entsprechenden Richtung zusammengedrückt, in der anderen ausgedehnt erscheint. Ihr Volumen bleibt dabei unverändert, weil der flüssige Inhalt nicht compressibel ist.

Diese Folgerungen haben natürlich auch dann noch Geltung, wenn die gestaltverändernde Kraft, statt von aussen auf die Membran einzuwirken, in dieser selbst ihren Sitz hat. Sie sind z. B. anwendbar auf jene plötzlichen Bewegungserscheinungen, welche bei irritabeln Pflanzen auf äussere Reize eintreten. Die mechanische Ursache der Bewegung kann hier nur in der Membran liegen; es müssen Verschiebungen ihrer kleinsten Theile stattfinden, in Folge deren die Zellen eine andere Form anzunehmen bestrebt sind, als vorher, und da sie plötzlich erfolgen, so ist eine gleichzeitige Volumenveränderung, die natürlich mit einer entsprechenden Wasserabgabe oder Wasseraufnahme verbunden sein müsste, in dünnwandigen, intersti-

tienlosen Geweben (wie man sie bei reizbaren Theilen trifft) wegen des Widerstandes der Membranen nicht denkbar. Dieselbe kann stets nur allmählich eintreten und folglich erst nach einiger Zeit bemerkbar werden; diess wird übrigens nur dann der Fall sein, wenn nach der Formveränderung der Zelle eine Spannung der Membran zurückbleibt, welche eine Vergrösserung oder Verkleinerung des Volumens bedingt, ist also keineswegs eine nothwendige Consequenz.*)

342 Die Zelle verhält sich also, wie aus dem Gesagten hervorgeht, gewissermaassen wie ein elastischer Körper; sie erfährt durch äussere oder innere Kräfte gewisse Formveränderungen und kehrt nachher, wenn der Druck oder Zug aufgehört hat, zu ihrer früheren Gestalt zurück. Dasselbe gilt natürlich auch von Geweben. Saftige Gewebe befinden sich in der lebenden Pflanze fortwährend in einem Zustande der Spannung, weil sie mit anderen Geweben, die ihrer freien Ausdehnung Widerstand leisten und folglich in entgegengesetzter Weise gespannt werden, zu einem Ganzen verbunden sind. Hieraus erklärt sich die Erscheinung, dass ein Blatt (z. B. von Allium), dem auf der einen Seite die Epidermis abgezogen wird, sich nach der entgegengesetzten Seite krümmt, weil die Cuticula am unversehrten Blatt negativ, das Blattparenchym dagegen positiv gespannt ist. Auch das Aufspringen der Früchte, die Bewegungen der sensitiven Pflanzen etc. lassen sich darauf zurückführen, dass das im Zustand der Ruhe bestehende Verhältniss entgegengesetzter Spannungen durch eine neu hinzukommende Kraft plötzlich verändert, das vorhandene Gleichgewicht also gestört wird.

Diese Spannungsverhältnisse sind in neuerer Zeit vielfach Gegenstand der Untersuchung geworden und es steht jedenfalls fest,

---

*) Nach Hofmeister ist mit der durch Reizung hervorgerufenen »Erschlaffung« irritabler Gewebe stets eine Volumenverminderung verbunden, die zwar in keinem beobachteten Falle sehr beträchtlich, in einigen aber, wenn auch nur gering, doch unzweifelhaft sein soll (Flora 1862, pag. 502). Da uns die betreffenden Beobachtungen unbekannt sind, wir also nicht wissen, wie und in welchem Zeitmomente die Messungen ausgeführt wurden, so müssen wir diese Angabe auf sich beruhen lassen. Aus den Thatsachen, welche Hofmeister in den Sitzungsberichten der k. sächs. Gesellschaft d. Wiss. (1859) und in Pringsheims Jahrbüchern für wiss. Bot. (1859, II, 2) veröffentlicht hat, lässt sich jedenfalls eine Raumverminderung nicht ableiten. Hofmeister selbst sagt (Jahrb. p. 264) wörtlich: »Die freie Aussenfläche der Unterseite des Blattstielpolsters (von Mimosa pudica) wölbt sich bei der Reizung in einem Maasse nach aussen, welches die Verkürzung des Längsdurchmessers völlig aufwiegt.«

dass eine Reihe von Bewegungserscheinungen darin ihre Erklärung finden.*) Da jedoch die physikalische Erörterung solcher Spannungen sich leichter an die Elasticitätskräfte homogener Körper anknüpft, so wollen wir dieselbe einem späteren Capitel vorbehalten.

4. Ungleiche Concentration der Lösung im Tropfen des Präparats.

Ein Tropfen einer beliebigen Lösung, den man auf Papier, **343**
Kleider etc. bringt, breitet sich auf der permeabeln Unterlage aus und lässt beim Verdunsten immer zunächst der Peripherie die deutlichsten Spuren des gelösten Stoffes zurück. Man beobachtet diess z. B. an Wein- und Kaffeeflecken. Offenbar wird in solchen Fällen die ursprünglich gleiche Concentration der Lösung während der Ausbreitung ungleich: die gelösten Stoffe sammeln sich vorzugsweise zunächst der Peripherie.

Dasselbe findet nun auch in Tropfen statt, welche man unbedeckt auf dem Objectträger ausbreitet, und in weniger auffallendem Grade auch nach dem Auflegen eines Deckglases. Eine Salzlösung scheidet immer zunächst dem Umfange Krystalle aus, und wenn die Verdunstung vollendet ist, nimmt die trockene Substanz, welche zurückbleibt, von aussen nach innen an Masse ab. Es lässt sich nachweisen, dass in diesem Fall die Ursache der fraglichen Erscheinung in der rascheren Verdunstung am Umfange zu suchen ist; denn stürzt man über den Tropfen einen Deckel, der durch eine kleine Oeffnung in der Mitte Luft zutreten lässt, so häufen sich die gelösten Substanzen unmittelbar unter der Oeffnung am stärksten an, weil alsdann hier die Verdunstung am lebhaftesten ist.**)

Es versteht sich übrigens von selbst, dass die Zunahme der Concentration an irgend einer Stelle wesentlich mit von der Beschaffenheit der gelösten und lösenden Substanz bedingt wird. In einem Gemisch von Wasser und Salzsäure erfolgt sie nur so lange, bis die Grenze erreicht ist, wo sich beide in gleichem Maasse verflüchtigen, und ebenso in Wasser und Schwefelsäure nur bis zur Herstellung des

*) Vgl. Brücke: Ueber die Bewegungen der Mimosa pudica (Müller's Archiv f. Anat. und Physiol. 1848 p. 440); ferner

Hofmeister: Ueber die durch die Schwerkraft bestimmten Richtungen von Pflanzentheilen (Pringsheims Jahrb. III). Ueber die Beugungen saftreicher Pflanzentheile nach Erschütterung (a. a. O. II). Ueber die Mechanik der Reizbewegungen von Pflanzentheilen (Flora 1862 p. 497).

**) Näheres hierüber findet man in der Abhandlung von Nägeli: Die ungleiche Vertheilung gelöster Stoffe in dem Wassertropfen eines mikroskopischen Präparats (Sitzungsberichte der k. bayer. Akad. d. Wiss. 1863. 14. Nov.).

Gleichgewichts zwischen der Neigung, mit welcher das Wasser verdunstet, und der Kraft, womit die Schwefelsäure dasselbe zurückhält.

344 Für die mikroskopische Untersuchung sind die erwähnten Thatsachen in dreifacher Beziehung von Wichtigkeit. Sie dienen erstens dazu, ungleiche Veränderungen zu erklären, die an verschiedenen Stellen des Präparates eintreten. Sie erlauben zweitens, dieselbe Veränderung an dem nämlichen Präparat wiederholt und in beliebiger Langsamkeit eintreten zu lassen und dabei Differenzen zur Anschauung zu bringen, welche sonst übersehen werden. Endlich machen sie es möglich, die geringste Menge einer gelösten Substanz, die sonst in keiner Weise nachgewiesen werden kann, wahrzunehmen.

In Betreff des ersten Punktes wollen wir nur erwähnen, dass gewisse Stellen eines Präparates bei Anwendung von Reagentien ein stärkeres Aufquellen oder eine deutlichere Färbung etc. zeigen, als andere Stellen, obschon die Natur des Objects eine gleichmässige Einwirkung mit ziemlicher Sicherheit erwarten liesse. Diese Verschiedenheiten rühren denn auch in der That, wie die genauere Prüfung zeigt, in den meisten Fällen von Concentrationsdifferenzen in der Lösung her, wie sie durch die ungleichmässige Verdunstung der Beobachtungsflüssigkeit hervorgerufen werden.

Der zweite Punkt gewinnt namentlich dann Bedeutung, wenn es sich darum handelt, Lösungs-, Quellungs- oder Färbungsprocesse, welche von der Concentration der einwirkenden Flüssigkeit abhängen, genauer zu verfolgen. Wird nämlich die letztere zunächst in solcher Verdünnung angewendet, dass sie keinerlei Veränderungen am Object bewirkt, so ruft die steigende Concentration während der Verdunstung nach und nach alle Stadien des fraglichen Processes hervor und da man weiss, in welcher Richtung die Einwirkung fortschreitet, so hat man den Vortheil, alle möglichen Uebergänge an neben einander liegenden Objecten beobachten und miteinander vergleichen zu können. Man erreicht zwar ungefähr dasselbe, wenn man das betreffende Reagens auf der einen Seite des Deckglases zusetzt und dessen fortschreitende Einwirkung während der Diffusion verfolgt; doch ist dieses Verfahren in schwierigen Fällen entschieden weniger zweckdienlich, als das vorhin genannte.

Was endlich den dritten Punkt betrifft, so ist einleuchtend, dass geringe Spuren von Substanzen, welche durch irgend eine Reaction kenntlich sind, dadurch nachgewiesen werden können, dass man sie am Rande eines unbedeckten Tropfens sich ansammeln lässt. Es

gelingt z. B. auf diese Weise nachzuweisen, dass kaltes Wasser entweder für sich allein oder mit einem geringen Zusatz von Iodwasserstoffsäure einen kleinen Theil der Flechtenschläuche, sowie auch der Membranen in den Samenlappen von *Hymenaea*, *Mucuna* etc. auflöst.

5. Bewegungen in einer Flüssigkeit, welche durch ungleiches specifisches Gewicht verursacht werden.

Wenn in einer Flüssigkeit Körper von verschiedenem specifi- 345
schen Gewicht enthalten sind oder sich darin entwickeln, so ordnen sie sich selbstverständlich nach ihrem specifischen Gewicht. Oeltropfen und Luftblasen streben daher in einer wässerigen Lösung, wie sie im Zellinhalt gegeben ist, nach oben, Plasmakörper, Stärkekörner und Krystalle dagegen nach unten; beide steigen oder fallen so lange, bis sie auf ein Hinderniss stossen, das ihrer Bewegung ein Ziel setzt. Ein ruhiges Schweben eines festen Körpers im Innern eines Hohlraumes ist folgerichtig nur dann möglich, wenn derselbe durch relativ feste Gebilde (Plasmafäden etc.) in seiner Lage festgehalten wird oder wenn das umgebende Medium nur ein halbflüssiges oder gallertartiges ist. In allen anderen Fällen muss er nothwendig dem Gesetze der Schwere folgen, wie man das auch deutlich an schwimmenden Plasmakörnern, Krystallen u. dgl. beobachtet; sie sammeln sich immer, welche Lage man auch einer Zelle geben mag, auf dem Grund derselben. Nur wo Plasmamassen und Chlorophyllkörner unbeweglich am Primordialschlauch adhäriren, bilden dieselben ein zusammenhängendes Wandbeleg, das sich beim Drehen wie eine feste Masse verhält.

Dass es nicht ganz überflüssig ist, dergleichen physikalische Gesetze, wenn sie auch bei Erscheinungen im Grossen Jedem geläufig sind, in einem mikrographischen Werke zu erwähnen, beweist der Umstand, dass man selbst in den neueren mikroskopischen Arbeiten hie und da Darstellungen findet, in welchen gerade diese Gesetze ganz und gar ignorirt werden. Man lässt bewegungslose Körper, welche specifisch schwerer sind als Wasser, auf oder in demselben schwimmen, als ob sich das von selbst verstünde; man vergisst dabei, dass die Schwere auch unter dem Mikroskop ihre Herrschaft übt und nur durch eine gleiche, aber entgegengesetzt wirkende Kraft aufgehoben wird. Wenn z. B. Schwärmsporen von *Vaucheria* oder *Ulothrix* an der Oberfläche des Wassers zur Ruhe kommen und keimen, so muss eine solche Kraft im Spiele sein, da ja sonst ein Schwimmen

auf dem Wasser nicht denkbar wäre. Dasselbe gilt auch von den einzelligen oder mehrzelligen Algen, welche in membranähnlichen Colonien das Wasser bedecken.

346 Sehr schön tritt die Wirkung der Schwere an den Plasmagebilden hervor, welche in der strömenden Zellflüssigkeit der Characeen enthalten sind. Ist die Indifferenzschicht, welche die beiden entgegengesetzten Ströme von einander scheidet, horizontal, der Strömungszirkel also lothrecht gestellt, so senken sich die grösseren Körper des unteren Stromes nach und nach auf den Grund der Zelle, während diejenigen des oberen sich der Indifferenzschicht nähern, zuweilen auch wohl dieselbe durchsetzen und so in den unteren Strom gelangen. Nimmt weiterhin die Indifferenzschicht in Folge der bei den Charen häufigen Drehung allmählich eine verticale Lage an, so dass die beiden Ströme neben einander zu liegen kommen, so sammeln sich die schwereren Körper beiderseits auf dem Grund der Zelle; der obere Theil derselben enthält alsdann nur Flüssigkeit, der untere nur Plasmagebilde. Wie sich die Wirkungen dieser verschiedenen Lagen in einer längeren Zelle, wo sie abwechselnd auf einander folgen, combiniren, mag hier unerörtert bleiben; wir verweisen in diesem Betreff auf die ausführliche Darstellung in den »Beiträgen zur wissenschaftlichen Botanik« von C. Nägeli, II. 1860.

6. Das Saftsteigen.

347 Nachdem wir im Vorhergehenden die Strömungsvorgänge im Allgemeinen, wenn auch unter Verhältnissen, wie sie in der Pflanze gegeben sind, erörtert haben, wollen wir hier noch speciell auf die Emporschaffung der Säfte in den höheren Pflanzen eingehen und uns zunächst unter Bezugnahme auf frühere Capitel und andere bekannte Thatsachen die Frage vorlegen, was die bekannten physikalischen Kräfte, die hier in Betracht kommen können, zu leisten vermögen.

Was zunächst die Capillarität betrifft, so wurde oben (S. 368) dargethan, dass die Höhe, bis zu welcher Wasser und wässerige Lösungen in Capillarröhren emporsteigen, auch für die Molecularinterstitien der Membranen im umgekehrten Verhältniss zum Durchmesser stehen dürfte. Es ist Thatsache, dass die capillaren Kräfte, die in diesen Interstitien wirksam sind, einem Drucke von mehreren Atmosphären das Gleichgewicht halten. — Auf der andern Seite wurde gezeigt, dass die Strömung durch capillare Räume über sehr geringe

Höhen hinaus nur äusserst langsam von statten geht, so dass die Verluste, welche die Verdunstung verursacht, durch die Wasserzufuhr von unten nicht mehr gedeckt werden. Wo daher Verdunstung und Capillarität zusammenwirken, muss das Flüssigkeitsniveau auf einer Höhe stehen bleiben, in welcher Strömungs- und Verdunstungsgeschwindigkeit einander gleich sind, — und diese Höhe reducirt sich, wenn die Luft nicht allzu feucht ist, auf einige wenige Fuss.

Dass die Capillaranziehung unter solchen Verhältnissen nicht im Stande ist, Bäumen und Sträuchern im Verlaufe der Vegetationsperiode das nöthige Wasserquantum zu liefern, liegt auf der Hand. Das Gewebe müsste, wenn nicht nebenbei noch andere Kräfte wirksam wären, von oben nach unten austrocknen, wie man diess an abgestorbenen Pflanzen auch wirklich beobachtet. Da indess Zustände denkbar sind, in welchen die Verdunstungsgrösse nahezu Null wird, und da eine zeitweise Mitwirkung der Capillarität doch mindestens zugegeben werden muss, so verlohnt es sich immerhin der Mühe, die Leistungsfähigkeit derselben und die Erscheinungen, welche je nach Umständen mit ihrer Wirksamkeit verbunden sind, näher zu prüfen.

Es ist zunächst einleuchtend, dass die Flüssigkeit, welche ein 348
System von Capillarräumen durchdringt, nicht nur in den feinen Interstitien, sondern auch in beliebig grossen Hohlräumen, die im Innern desselben vorkommen, durch die Capillaranziehung zurückgehalten wird, ganz so, wie diess auch bei weiten Glasröhren der Fall ist, welche oben in eine feine Spitze, beispielsweise mit einer Oeffnung von c. 1—2 Mik., ausgezogen sind. Die Last, welche die capillaren Kräfte unter solchen Umständen zu tragen haben, hängt offenbar bloss von der Höhe der Wassersäule und nicht von ihrem Durchmesser ab.

Anders verhielte es sich freilich, wenn ein mit Luft gefülltes Capillarsystem mit seinem untern Ende in Wasser gestellt würde. Alsdann könnte das letztere in den verschiedenen Theilen des Systems nur bis zu einer Höhe emporsteigen, welche im umgekehrten Verhältniss zum Durchmesser stünde, in Zellhöhlungen und anderen grösseren Räumen also ungleich weniger hoch als in den Molecularinterstitien. Ein solcher Fall lässt sich aber nur mit todten Geweben verwirklichen; die lebende Pflanze ist von Anfang an mit Saft gefüllt und baut sich im gefüllten Zustande allmählich in die Höhe. Hier ist demzufolge die Capillaranziehung, so lange nicht in Folge der negativen Spannung Luftausscheidung oder Dampfbildung eintritt, voll-

kommen ausreichend, um ein Sinken der Säfte in allen Theilen des Gewebes zu verhindern. Es ist dagegen selbstverständlich absolut undenkbar, dass dieselbe ein Ausströmen der Säfte aus den obersten Zellen der Gewebe hervorrufe.

349 Wenn neben der Capillaranziehung noch andere Kräfte wirksam sind, welche die Säfte nach oben oder nach allen Seiten gegen die Verbrauchsstellen hin treiben, so müssen zwei Fälle unterschieden werden. Entweder wirken diese Kräfte so intensiv, dass sie einen continuirlichen Druck auf alle Punkte der Oberfläche ausüben und also eine grössere Menge Wasser zu liefern im Stande sind, als durch Verdunstung verloren geht. Das concave Flüssigkeitshäutchen in den Enden der Capillarräume wird alsdann abgeflacht oder sogar nach aussen gewölbt, und die Capillarität bleibt ausser Wirkung. Oder die Verluste sind stärker, als dass diese andern Kräfte sie zu ersetzen vermöchten; dann theilen sich dieselben mit der Capillaranziehung in die Arbeit, und wenn die Gesammtleistung nicht ausreicht, so zieht sich die Flüssigkeit von der Oberfläche zurück, bis in Folge der dadurch verlangsamten Verdunstung das Gleichgewicht wieder hergestellt ist.

350 Die Arbeit, welche der Capillaranziehung, sie mag nun im Verein mit andern Kräften oder für sich allein wirksam sein, bei der Unterhaltung eines continuirlichen Stromes zufällt, ist natürlich für jedes Niveau von der Grösse der Menisken abhängig, welche in den verschiedenen Punkten des Systems zu Stande kommen. Ist der mittlere Durchmesser dieser Menisken, in Millimetern ausgedrückt, gleich *d* und folglich die entsprechende Steighöhe c. $\frac{30}{d}$, so wirkt die Capillaranziehung mit einer Kraft, welche dem continuirlichen Druck einer Wassersäule von $\frac{30}{d}$ m. m. gleichkommt. Sie vergrössert dadurch die Strömungsgeschwindigkeit und ruft zugleich Spannungen hervor, wie sie oben (S. 373) für den Gleichgewichtszustand angegeben sind.

Hier drängt sich nun aber die Frage auf, ob diese theoretischen Folgerungen, welche für Capillarröhren von messbarem Durchmesser unzweifelhaft richtig sind, auch für die Molecularinterstitien der Membranen Geltung haben, oder ob in dieser Hinsicht Imbibition und Capillarität zu unterscheiden sind. Ein Zug von mehreren Atmosphären ist allerdings vorhanden und es ist gleichgültig, wie man die

Kraft nennt, welche ihn ausübt. Was jedoch die Fortpflanzung der Spannungen betrifft, welche in Folge davon eintreten, so wissen wir hierüber Nichts. Es wäre möglich, dass in den lebenden Membranen Kräfte wirkten, welche jenem Zuge schon auf geringe Entfernung das Gleichgewicht hielten und so die Rückwirkung desselben auf den Zelleninhalt oder auf grössere Zellcomplexe verhinderten. Man kann sich auch vorstellen, dass solche Kräfte gerade in Folge der Spannung frei werden.

Wie dem auch sei, es ist Thatsache, dass Spannungen von mehreren Atmosphären, wie sie nach Maassgabe des capillaren Zuges vorhanden sein müssten, in pflanzlichen Geweben nicht vorkommen, obschon die continuirliche Mitwirkung der Capillarität in jedem dürren Zweige eines Baumes, an jeder abgestorbenen Stelle eines Blattes etc. zweifellos und bei rascher Verdunstung auch in frischen Geweben mindestens sehr wahrscheinlich ist. Auf irgend eine Weise wird also die Fortpflanzung der Spannungen auf grössere Entfernungen verhindert, und da diess nur durch Kräfte geschehen kann, welche auf die Bewegung der Säfte mit einwirken, so folgt daraus immerhin, dass die Capillaranziehung im Verhältniss zur Gesammtsumme der stromerhaltenden Kräfte eine verschwindend kleine Grösse darstellt und folglich in der Physik des Saftsteigens eine höchst untergeordnete Rolle spielt.

Eine zweite Kraft, welche unzweifelhaft auf die Bewegung der Säfte Einfluss übt, ist die sogenannte diosmotische oder endosmotische Kraft. Die Arbeit, welche dieselbe zu leisten vermag, ist indess voraussichtlich eine sehr veränderliche Grösse; denn sie hängt sowohl von der Concentration der Säfte, als auch von der Natur der Stoffe ab, die darin gelöst sind. Man wird jedoch das Maximum der möglichen Leistungen erhalten, wenn man von der Annahme ausgeht, die in Lösung vorhandenen Stoffe wirken sämmtlich wie derjenige unter ihnen, welcher erfahrungsgemäss das grösste endosmotische Aequivalent besitzt, nämlich wie Zucker, und wenn man überdiess eine Concentration der Lösung voraussetzt, welche die bei Pflanzensäften beobachtete noch übertrifft. Dieses Maximum der Leistungen ist nun nachweisbar sehr gering. 351

Der Frühlingssaft des Zuckerahorns, dessen specifisches Gewicht 1,003 — 1,006 beträgt, würde z. B. vermöge seiner Verwandtschaft zur Bodenfeuchtigkeit in einem gewöhnlichen endosmotischen Apparat noch nicht einen Meter, der Saft der Weinrebe mit einem spe-

cifischen Gewicht von 1,0008 — 1,0009 keinen halben Meter hoch steigen (wobei allerdings vorausgesetzt ist, dass die vegetabilische Zellmembran sich wie eine thierische Blase verhalte). Wenn nun auch die Concentration der Zellsäfte und mit ihr die endosmotische Kraft den Sommer über beträchtlich höher steigt, so ist doch soviel sicher, dass dieselbe im günstigsten Falle höchstens einer Wassersäule von 5 — 10 Fuss das Gleichgewicht hält. Solche Kräfte dürfen im Vergleich mit der Arbeit, welche unsere höchsten Bäume zu leisten haben, geradezu als verschwindend bezeichnet werden.

Betreffend die Concentrationsdifferenzen, welche möglicher Weise zwischen dem Zellsaft und dem Imbibitionswasser der Membranen bestehen, sowie ferner die Concentrationsveränderungen, welche beim Durchgang der Säfte durch vegetabilische Membranen stattfinden, so haben wir nicht nöthig, diese Punkte noch besonders in Betracht zu ziehen, da sie im Vorhergehenden bereits ihre Erledigung gefunden. Wenn die grössten Concentrationsdifferenzen, die überhaupt in der Pflanze vorkommen, unter den günstigsten Verhältnissen nur eine Kraft repräsentiren, die einer Wassersäule von 5 — 10 Fuss das Gleichgewicht hält, so ist an und für sich klar, dass die kleineren Variationen, die im Gewebe stattfinden, den Gesammteffect nicht erhöhen und folglich zu vernachlässigen sind.

352 Nach den bisherigen Erörterungen reicht also die Gesammtarbeit der Capillarität und Diosmose im Maximum bis zu einer Höhe von einigen Metern, d. h. sie ist gerade ergiebig genug, um eine safterfüllte Pflanze von dieser Höhe im gefüllten Zustande zu erhalten. Dass diese Arbeitsgrösse zur Erklärung des Saftsteigens in unseren Bäumen nicht ausreicht, ist ohne Weiteres klar. Hier müssen also nothwendig noch andere Kräfte wirksam sein, welche den Rest der zu verrichtenden Arbeit übernehmen, und wenn solche Kräfte den hohen Gewächsen zukommen, so ist die Annahme gerechtfertigt, dass sie auch bei weniger hohen vorhanden seien. Uebrigens deutet eine Reihe von Erscheinungen, die wir unten specieller bezeichnen werden, darauf hin, dass diese Annahme eine thatsächlich begründete ist.

Ueber den Sitz der fraglichen Kräfte sind von vorne herein verschiedene Ansichten denkbar, von denen jedoch eine einzige mit den bereits erwähnten thatsächlichen Spannungsverhältnissen vereinbar ist. Wollte man z. B. annehmen, jene Kräfte haben ihren Sitz in den Wurzeln, so würde natürlich das ganze Gewicht des emporgetriebenen Saftes auf der Unterlage ruhen, ganz so, wie es bei einer

Röhrenleitung der Fall ist, welche die oberen Stockwerke eines Hauses mit Wasser versieht. In einem Baum von 180—200 Fuss Höhe müsste alsdann der hydrostatische Druck des Zellsaftes in der Nähe der Basis c. 6 Atmosphären betragen. Die Messungen, die man bis jetzt über diesen Druck angestellt hat, ergeben indess, wie bereits früher erwähnt, durchschnittlich so geringe Ziffern, dass man geradezu sagen kann, der hydrostatische Druck des Zellsaftes sei in der Regel vom äussern Luftdruck nur wenig verschieden und zwar bald etwas grösser, bald aber auch kleiner als derselbe. Eine Ausnahme hievon bildet nur die Periode des Thränens, weil alsdann die safterfüllten Gefässe auch das umgebende Gewebe unter einen der Höhe der Wassersäule entsprechenden Druck versetzen. In diesem Ausnahmsfalle ist allerdings nicht zu bezweifeln, dass die Kräfte, welche jener Wassersäule das Gleichgewicht halten, in der Wurzel ihren Sitz haben.

Versetzt man dagegen die bewegenden Kräfte in die Blätter oder überhaupt in die obern Enden der Bäume, so stösst man hiemit schon beim ersten Schluss auf die nämliche Ungereimtheit, wie bei der Capillarität: die negativen Spannungen müssten in grösseren Höhen einen Grad erreichen, welcher in Wirklichkeit nie vorhanden ist.

Denselben Widersprüchen begegnet man, wenn auch in geringerem Grade, auch dann, wenn man die Kräfte in verschiedenen Höhen, jedoch in ziemlicher Entfernung von einander, wirken lässt. Es bleibt also nichts Anderes übrig, als dieselben auf zahlreiche, nahe liegende Punkte zu vertheilen, und da kein Grund vorliegt, sie auf bestimmte Zellen im Gewebe zu concentriren, so erscheint es am natürlichsten, jede einzelne saftführende Zelle damit auszustatten. Nur wenn die Arbeit des Baumes sich auf alle Zellen gleichmässig vertheilt, sind die geringen Spannungen, wie sie in der Pflanze vorkommen, erklärlich. Man begreift dann auch, dass unter Umständen sogar ein Ausfliessen der Säfte in Höhen von 50 Fuss und darüber, wie man es beispielsweise bei Nectarien und hie und da auch bei Blättern beobachtet, stattfinden kann, sowie andererseits, dass gewisse Zellen durch entgegengesetzt wirkende Kräfte die Säfte nach unten oder bei horizontal liegenden Pflanzen rückwärts gegen die Wurzeln hintreiben, und dass gegenläufige Ströme sogar bei Zellen gleicher Art, wie z. B. bei Siebzellen, vorkommen können.

Gewisse Erscheinungen deuten überdiess in directer Weise darauf hin, dass eine saftbewegende Kraft, unabhängig von der Capilla- 353

rität, der Verdunstung und Diosmose, in den Zellen thätig ist, und dass sie sogar in abgeschnittenen Zweigen und Zweigstücken noch einige Zeit fortwirkt. Nägeli*), beobachtete diess z. B. bei Kartoffeln, welche der allmählichen Verdunstung ausgesetzt waren. Das Eintrocknen schreitet hier in sehr augenfälliger Weise von unten nach oben fort; das Gewebe erscheint am Grunde bald runzelig und weich, während es am Scheitel noch längere Zeit frisch und saftig bleibt und die Knospenanlagen zur Entwicklung bringt. Ebenso ist längst bekannt, dass Sprosse von sogenannten Fettpflanzen, denen die Wasserzufuhr abgeschnitten ist, an der Spitze fortwachsen und Blätter treiben, indess sie am Grunde vertrocknen und absterben. Solche Erscheinungen lassen sich nicht etwa auf einen vorwiegenden Wasserverlust in der Scheitelregion zurückführen, weil dadurch selbstverständlich nur eine Strömung hervorgerufen würde, die eine gleichmässige Vertheilung des Wassers, nicht aber die Anhäufung des ganzen Vorrathes an der Verdunstungsstelle zur Folge hätte.

Welcher Natur die Kraft sei, die diese Wirkungen hervorruft, ist nicht bekannt. Nachdem es jedoch feststeht, dass elektrische Ströme ähnliche Bewegungen in Flüssigkeiten hervorrufen, dass sie den diosmotischen Strom verlangsamen oder beschleunigen können u. s. w., so liegt die Vermuthung nahe, es möchten auch hier solche Ströme im Spiele sein.

354 Zum Schlusse sei noch bemerkt, dass wir im Vorhergehenden nur die mechanische Seite der Saftbewegungen im Auge hatten. Die Wanderung der Stoffe im Allgemeinen ist damit keineswegs erschöpft. Es gibt eine Reihe von Erscheinungen, die zu neuen und interessanten Fragen Veranlassung geben, auf die wir aber hier nicht eingehen können. Wenn z. B. die Stärke, die sich den Sommer über in den Blättern der Bäume gebildet, im Herbste, nachdem die Neubildungen bereits aufgehört haben, in gelöster Form den Stammtheilen und Wurzeln zugeführt und hier in Körnerform wieder aufgespeichert wird, so ist diess nicht etwa als eine mechanische Fortschaffung einer Lösung zu betrachten, aus welcher sich später die Körner wieder ausscheiden; denn die Zellen des Stammes und der Wurzel, die den Winter über Stärke führen, waren ja vorher mit Saft gefüllt und folglich ausser Stande, eine zuströmende Flüssigkeit aufzunehmen. Es findet hier vielmehr eine Wanderung der Stärkeatome nach unten

---

*) Sitzungsber. d. k. bayer. Akad. d. Wiss. Vortr. vom 9. Febr. 1861.

statt, indess die Flüssigkeit, deren Stelle sie später einnehmen, sich nach oben zurückzieht. Dieses eine Beispiel mag genügen, um die Schwierigkeiten, die eine Alles umfassende Theorie der Stoffwanderung zu überwinden hat, wenigstens anzudeuten.

7. Strömungen durch Capillarröhren und Membranen.

Die Geschwindigkeit, mit welcher Flüssigkeiten durch eine 355
Röhrenleitung fliessen, nimmt bekanntlich von der Innenfläche der Röhre nach der Mitte hin zu. Der mittlere Werth derselben, wie er aus der Ausflussmenge bestimmt wird, hängt von der Grösse der wirkenden Kraft, der Länge und Dicke der Röhre, sowie ferner von der Adhäsion zwischen Wandung und Flüssigkeit und von den Temperaturverhältnissen ab (s. Eisenlohr, Lehrb. d. Phys. S. 112). Die Anwendung der hierauf bezüglichen Gesetze auf Erscheinungen im Pflanzenleben betreffend, sei hier nur bemerkt, dass das Strömen der Pflanzensäfte in Milchsaftgängen, Gefässen und anderen Capillarsystemen Vorgänge sind, die sich den in der Hydrodynamik gültigen Formeln in mancher Beziehung nicht fügen, weil diese Formeln eine gewisse, nicht unbeträchtliche Grösse des Querschnittes voraussetzen, die hier nicht gegeben ist. Noch am ehesten liesse sich der Strömungsvorgang in Gefässen nach den mit Glasröhren von c. 0,1 m. m. Durchmesser angestellten Untersuchungen beurtheilen. Poiseuille gelangte hiebei auf empirischem Wege zu der Formel

$$Q = 1836{,}724\,(1 + 0{,}0336793\,T + 0{,}0002209936\,T^2)\,\frac{HD^4}{L},$$

in welcher Q das in einer Secunde ausgeflossene Wasserquantum in Kubikmillimetern, H die stromerhaltende Druckhöhe in Quecksilber bei 0°, D den Durchmesser und L die Länge der Röhre, alles in Millimetern gemessen, bezeichnet. Der in Parenthesen stehende Ausdruck bestimmt die Correction für verschiedene Temperaturen T in Centesimalgraden.

Da die in der Zeiteinheit ausfliessende Wassermenge durch $\frac{vD^2\pi}{4}$ ausgedrückt wird, wenn v die Stromgeschwindigkeit bedeutet, so lässt sich die obige Formel auf die einfachere zurückführen

$$v = \frac{HD^2}{L} \times \text{Const.},$$

worin jedoch die Correction für verschiedene Werthe von T vernachlässigt ist. Setzt man $T = 15^0$, so wird Const. $= \frac{4}{\pi} \cdot 1836{,}724 \cdot 1{,}5549 = 3636{,}3$, und man hat

$$v = 3636{,}3 \frac{HD^2}{L}.$$

Die Stromgeschwindigkeit ist hienach der Druckhöhe H und dem Quadrate des Durchmessers direct, der Röhrenlänge L umgekehrt proportional. Als absoluter Werth von v ergiebt sich z. B. für eine Röhre von 100 Mik. Durchmesser und 3,6363 Meter Länge, wenn die Druckhöhe zu 760 m. m. angenommen wird, eine Geschwindigkeit von 7,6 m. m. auf die Secunde *). Hiebei ist jedoch die Capillarröhre horizontal zu denken; wäre sie vertical, so müsste obige Druckhöhe selbstverständlich um eine Grösse gesteigert werden, welche der Flüssigkeitssäule in der Röhre nach hydrostatischen Gesetzen das Gleichgewicht hielte, also im gegebenen Falle um 3,6363 Meter in Wasser oder c. 267 m. m. in Quecksilber. Man ersieht hieraus, wie bedeutend die Kraft sein müsste, welche im Stande wäre, in Gefässen von 36 Meter Länge und darüber, wie sie bei hohen Bäumen und Schlingpflanzen wirklich vorkommen, eine Stromgeschwindigkeit von nur 0,1 m. m. per Secunde hervorzurufen.

356 Gehen wir jetzt von diesem einfachen Fall zu dem im Pflanzenreiche gewöhnlicheren über, dass die capillaren Röhren, in welchen die Flüssigkeiten strömen, durch zahlreiche Membranen, d. h. durch Systeme von ungleich feineren Capillarräumen unterbrochen sind, so haben wir es hier mit einer Erscheinung zu thun, deren Gesetze noch fast gar nicht näher bekannt sind. Soviel ist indess sicher, dass solche Unterbrechungen als neu hinzukommende Widerstände zu betrachten sind, welche demnach zu den Reibungswiderständen in ununterbrochenen Capillarröhren addirt werden müssen. Die stromerhaltende Kraft muss also jedenfalls beträchtlich grösser sein als in dem vorhin besprochenen Falle, und die wenigen Thatsachen, die man hierüber kennt, beweisen, dass sie unter Umständen eine enorme Höhe erreicht. Es bedurfte z. B. volle 4 Stunden, um durch einen aus frischem Tannenholz der Länge nach herausgeschnittenen Pfropf von 40 m. m. Länge eine Wassersäule von 70 m. m. und gleichem Querschnitt, welche unter dem Druck einer Quecksilbersäule von 760 m. m. stand, hindurch zu pressen. Diess ergiebt selbst für den

*) Nach unsern Versuchen über die Strömung der Luft durch Capillarröhren bewegt sich dieselbe unter übrigens gleichen Umständen c. 60 mal rascher als das Wasser. Die Strömungsgeschwindigkeit ist wie bei Flüssigkeiten der Druckhöhe und dem Quadrate des Durchmessers direct, der Röhrenlänge umgekehrt proportional. (Sitzungsber. der k. bayer. Akad. d. Wiss. 1866.)

Fall, dass der Querschnitt der strömenden Flüssigkeit im Pfropf nur $^1/_{10}$ des Gesammtquerschnittes betrüge, die immerhin sehr geringe Geschwindigkeit von c. $^1/_{21}$ m. m. per Secunde für den Druck einer Atmosphäre.

Andere Versuche, die wir mit quer herausgeschnittenen Pfropfen und mit solchen aus parenchymatischen Geweben anstellten, wobei ebenfalls eine Wassersäule von nahezu gleichem Querschnitt durch den Pfropf gepresst wurde, ergaben noch viel kleinere Ziffern. Die Resultate sind in folgender Uebersicht zusammengestellt.

Pfropf von	Länge des Pfropfs in Millim.	Quecksilberdruck in Millim.	Strömungsgeschwindigkeit per Stunde, in Millim.
Buchenholz	15	500	0,03
Kartoffelparench.	32	576	0,45
Runkelrübe	38	520	2—2,5
Apfelparenchym	30	400	2—3

Bei diesen Versuchen wurde der aus Buchenholz geschnittene Pfropf in die Glasröhre eingekittet, die übrigen dagegen in eine der Glasröhre aufgesetzte, dickwandige Kautschukröhre eingezwängt und mit seidenen Bändern umwickelt. Der so erzielte Verschluss war jedenfalls ziemlich gut; doch lässt sich die Möglichkeit, dass vielleicht ein Theil des Wassers zwischen Pfropf und Kautschukwandung durchsickerte, nicht bestreiten. Die wirklichen Strömungsgeschwindigkeiten sind daher wahrscheinlich noch kleiner, als die in der Uebersicht angegebenen, und es dürfte ganz allgemein eher zu hoch als zu tief gegriffen sein, wenn man dieselben für safterfüllte dünnwandige Gewebe bei ungefähr gleicher Dicke (c. 30 m. m.) und für den Druck einer Atmosphäre auf c. 2,5 — 3,6 m. m. per Stunde veranschlagt, was auf die Secunde im höchsten Fall einen Mikromillimeter ausmacht. In Geweben mit unlöslichem Zelleninhalte und mit dicken Wandungen ist natürlich *ceteris paribus* die Strömungsgeschwindigkeit noch kleiner und somit die Kraft, welche zur Hervorbringung einer namhaften Strömung erforderlich ist, noch beträchtlich grösser.

Die Frage, wo eine so bedeutende stromerhaltende Kraft zu suchen sei, wird natürlich durch vorstehende Erörterungen in keiner Weise berührt. Es sollte bloss nachgewiesen werden, dass eine solche Kraft, wo sie immer ihren Sitz haben mag, angenommen werden muss, um das Strömen durch pflanzliche Gewebe zu erklären.

357 Die Verschiedenheiten betreffend, welche möglicherweise hinsichtlich der Durchlässigkeit der (nicht cuticularisirten) Zellmembranen für wässerige Flüssigkeiten vorkommen, so geben die bisherigen Beobachtungen hierüber so gut wie keinen Aufschluss. Es ist jedenfalls unzulässig, aus der grössern Stromgeschwindigkeit, welche beispielsweise den im Holzkörper strömenden Säften im Vergleich mit denen der Rinde zukommt, auf eine grössere Durchlässigkeit der Zellmembranen des Holzes zu schliessen, da die vorausgesetzte Beziehung zwischen Stromgeschwindigkeit und Permeabilität offenbar nur dann besteht, wenn die Kraft, welche die Strömung unterhält, überall dieselbe ist; wie diess z. B. der Fall wäre, wenn die Emporschaffung der Säfte durch den Auftrieb der Wurzeln oder durch die an den oberen Enden wirkende Capillarität stattfände. Sobald aber Kräfte, welche in den einzelnen Zellen ihren Sitz haben, sich bei dieser Arbeit betheiligen, wie es nachweisbar geschieht, wird natürlich jede auf die Stromgeschwindigkeit basirte Vergleichung der Permeabilität der Gewebe durchaus unstatthaft.

Die von Hofmeister (Flora 1862) ausgesprochene Ansicht, dass die Membranen lebender Holzzellen in weit höherem Grade permeabel seien, als die des saftreichen Parenchyms der Rinde, so dass die letztere den im Holzkörper aufsteigenden Saftstrom gleichsam eindämmen würde, findet in dem Vorhergehenden ihre Beleuchtung. Den weiteren Angaben, dass die Permeabilität durch Kochen und Trocknenlassen vermindert werde, können wir schon desswegen kein Gewicht beilegen, weil die von Hofmeister im frischen Zustande beobachtete Strömungsgeschwindigkeit ganz entschieden darauf hinweist, dass mindestens $^9/_{10}$ der durchgegangenen Wassermenge den Weg durch gröbliche Räume (offene Poren u. dgl.), nicht durch Molecularinterstitien, genommen haben*). Die theilweise Verstopfung dieser Räume in Folge der Quellung, welche ein »wiederholtes und anhaltendes Kochen« bedingen musste, vielleicht auch in Folge der Coagulation von Eiweissverbindungen, ist ohne Zweifel die einzige Ursache der verminderten Durchlässigkeit im gekochten Zustande.

---

*) Hofmeister gibt an, dass ein Holzstück von 43 m. m. Länge im frischen Zustande unter dem Drucke von 330 m. m. Wasser eine Wassersäule von circa 100 m. m. Länge und gleichem Querschnitt durchfiltriren liess — eine Stromgeschwindigkeit, die nach unseren Versuchen ohne die Mitwirkung gröblicher Räume geradezu undenkbar ist.

Ein fernerer Punkt, welcher für das Verständniss der Strömungen wichtig, ist das Verhalten von Capillarröhren, in welchen kurze Flüssigkeitssäulen mit Luftblasen abwechseln. Hier erreicht der Widerstand, welcher dem Durchgang der Flüssigkeit entgegensteht, eine um so beträchtlichere Grösse, je zahlreicher die Luftblasen. Durch Häufung der letzteren in einer sehr engen capillaren Röhre brachte es Jamin dahin, dass ein Druck von drei Atmosphären auf die eine Oeffnung der Röhre nur auf der zugekehrten Seite der Tropfenreihe eine Bewegung derselben zur Folge hatte, während die am weitesten abstehenden Flüssigkeitssäulen selbst nach 14 tägiger Einwirkung nicht die geringste Verschiebung zeigten. Die bewegende Kraft nimmt also hier sehr rasch von Tropfen zu Tropfen ab und wird endlich Null. Der Widerstand, welchen die einzelnen Tropfen dem Drucke entgegensetzen, ist um so grösser, je enger der capillare Raum, dabei aber unabhängig von der Länge derselben. 358

Diese Thatsachen erklären zur Genüge, warum die in den Holzzellen enthaltene Luft, trotz der offenen Verbindungen durch die Porenkanäle, durch den Saftstrom niemals gänzlich verdrängt oder in die Gefässe hinein getrieben wird, vielmehr theilweise in den Zellen zurückbleibt, obschon der Saft zur Zeit des Thränens unter einem hohen Drucke steht.

8. Die Plasmaströmungen.

Die Bewegungserscheinungen, die man am Plasma der Pflanzenzellen beobachtet, sind in neuester Zeit sowohl von Botanikern als Zootomen vielfach untersucht und mit analogen thierischer Organismen verglichen worden. Es ergab sich hiebei eine so auffallende Uebereinstimmung mit der thierischen »Sarkode«, dass man diese Benennung für die contractile Substanz der Thierzelle aufgab und dafür die in der Botanik übliche Bezeichnung Protoplasma auch auf jene ausdehnte. Inwieweit nun diese Identificirung gerechtfertigt sei, mag hier unerörtert bleiben; wir wollen nur constatiren, dass sie vorläufig mehr auf den übereinstimmenden Eindruck der Lebensäusserungen im Allgemeinen, als auf die specielle Auffassung und Deutung derselben gegründet ist, da in dieser letzteren Hinsicht die Anschauungen in wesentlichen Punkten differiren. 359

Gewöhnlich schreibt man den Plasmabändern oder Plasmamassen, welche die fraglichen Erscheinungen zeigen, eine fliessende Bewegung zu, wobei die in das Plasma eingebetteten Körnchen, deren Ortsveränderungen wir direct beobachten, mit fortgerissen würden,

wie die Schlammtheilchen eines Flusses von dem strömenden Wasser. Brücke*) erkennt dagegen die sogenannten Plasmaströmchen nicht als solche an; er unterscheidet vielmehr eine zweifache Bewegung: eine langsame ziehende oder kriechende Contractionsbewegung des Plasmakörpers, von der die Veränderungen in der Anordnung der Hervorragungen herrühren, und eine schnell fliessende, die sich in der Bewegung der Körnchen ausspricht. Nach ihm ist das Protoplasma überhaupt ein contractiler Körper, und in diesem Falle wird derselbe durchströmt von einer körnerreichen Flüssigkeit. De Bary**) hält diese Annahme für unwahrscheinlich. Er bezweifelt, dass sich an dem Object, welches Brücke zu seinen Beobachtungen gewählt hatte, nämlich an den Brennhaaren der Nessel, überhaupt entscheiden lasse, ob eine oder zweierlei Bewegungen vorhanden seien. An günstigeren Objecten, den Staubfädenhaaren von Tradescantia, will er dagegen beobachtet haben, dass die Hervorragungen der Plasmastreifen sich ebenso schnell in der Strömungsrichtung fortbewegen, wie die Körnchen im Innern derselben. Wenn hie und da zwei gegenläufige Bahnen, die hart aneinander grenzen, in demselben Streifen vorkommen, so beweise diess weiter Nichts, als dass die fliessenden Contractionsbewegungen des Plasmas gleichzeitig nach entgegengesetzten Richtungen vor sich gehen können und dass die ruhende Partie zwischen den entgegengesetzten Strömen zu schmal sei, um noch gesehen zu werden. De Bary vertheidigt also die herkömmliche Deutung der Körnchenbewegung, wonach dieselbe hervorgebracht würde durch strömendes Plasma.

360 Wir können uns weder der einen noch der andern Ansicht ganz anschliessen. Dass die Hervorragungen der Plasmastreifen mit gleicher Schnelligkeit fortrücken wie die Körnchen, kommt bei den Haaren der Tradescantien allerdings nicht selten vor, ist jedoch keineswegs durchgreifende Regel. Fast ebenso häufig beobachtet man auch das entgegengesetzte Verhalten, welches die Brücke'sche Unterscheidung zwischen Plasmabewegung und Körnerbewegung rechtfertigt. Die Formverhältnisse der Plasmastreifen (Verdickungen, Verzweigungsstellen etc.) können in der That 10 Minuten lang und darüber ziemlich unverändert bleiben, indess die Körnchen in rascher Bewegung, den Ausbiegungen der Umrisse folgend, vorüberströmen.

*) Brücke, die Elementarorganismen. Sitzungsb. der k. k. Akad. in Wien 1862. Bd. XLIV, p. 381.

**) Flora 1862, p. 219.

Oder es kann eine augenfällige, scheinbar kriechende Bewegung der Plasmastreifen stattfinden, welche zuweilen die Geschwindigkeit der Körnchen erreicht, in der Regel jedoch weit hinter denselben zurückbleibt. Die zweierlei Bewegungen sind also wirklich vorhanden; es ist diess eine unzweifelhafte Thatsache, von der sich Jeder, der eine hinreichende Zahl von Fällen untersucht, leicht überzeugen kann.

Damit ist aber die Brücke'sche Ansicht noch keineswegs bewiesen. Wenn die Körnchen von einer strömenden Flüssigkeit fortgerissen würden, so müssten dieselben doch wohl im Innern der Plasmastreifen enthalten sein, sei es nun in wenigen grossen oder in vielen kleinen Kanälchen. Die Profilansicht zeigt aber, dass die Körnchen im Gegentheil vorzugsweise an der Oberfläche liegen, indem sie an der Umrisslinie in einer der Flächenansicht entsprechenden Zahl auftreten, und dass sie hier deutlich nach aussen hervorragen, als ob sie an das Plasma angedrückt wären (Fig. 195; *b* ein Plasmaband in der Durchschnittsansicht). Ja es erscheint sogar zweifelhaft, ob bei Tradescantia im Innern der Plasmabänder überhaupt Körnchen vorkommen; jedenfalls ist ein directes Beobachten derselben bei mittlerer Einstellung wegen der Kleinheit der Niveaudifferenzen zwischen der zu- und abgekehrten Fläche nicht leicht möglich. Uns scheint das Vorkommen der Körnchen im Innern der Plasmabänder, soweit die directe Beobachtung hier ein Urtheil erlaubt, unwahrscheinlich, und als vollkommen sicher betrachten wir es, dass weitaus die grössere Zahl derselben an der Oberfläche des Plasmas dahingleitet.



Fig. 195.

Die Beobachtung zeigt ferner, dass die Bewegung der Körnchen 361
keine ganz gleichmässige ist. Man sieht deutlich, wie die relativen Abstände derselben während der Bewegung sich ändern, wie ein Körnchen hie und da etwas verzögert und in Folge dessen von einem nacheilenden eingeholt wird, wie dann das letztere bald voraus eilt, bald wieder zurückbleibt, bald auch eine Zeit lang mit dem andern in Berührung bleibt u. s. w. Gerade die Körner, welche bei mittlerer Einstellung an den Rändern der Plasmabänder hingleiten, zeigen

diese Unregelmässigkeiten der Bewegung auf das Deutlichste. Nach der Brücke'schen Auffassung der Strömungserscheinungen ist nun aber eine befriedigende Erklärung dieser Thatsache nicht möglich. Die Annahme, dass die Körnchen, welche von der strömenden Flüssigkeit fortgeführt werden, an den Plasmawänden der Strömungscanäle sich reiben und dadurch mehr oder weniger verzögert werden, hätte zwar für das Innere eines Plasmabandes Manches für sich; allein da die Bewegung in gleicher Weise auch an der Oberfläche, ja wahrscheinlich nur an der Oberfläche stattfindet, so verliert dadurch die Vorstellung einer das Plasma durchströmenden Flüssigkeit mindestens an Plausibilität. Sie wird vollends unhaltbar, wenn man erwägt, dass Körner, welche viel dicker sind als die Plasmafäden, an denen sie dahingleiten, dieselben Erscheinungen zeigen wie diejenigen grosser Plasmabänder. Sie adhäriren an der Oberfläche des Fadens und bewegen sich darauf fort, wie ein Seiltänzer auf seinem Seil. An eine strömende Flüssigkeit, welche die Körner mit fortschleppt, ist hier gar nicht zu denken.

Unseres Erachtens hat die Bewegung der Körnchen, soweit sie eine selbständige ist, am meisten Aehnlichkeit mit den Glitschbewegungen, wie man sie bei den Desmidiaceen, z. B. bei Closterium, beobachtet.*) Man sieht hier, wie einzelne der Körnchen, welche in den bekannten Polarräumen Molecularbewegung zeigen, sich an die Innenfläche des Primordialschlauches anlegen und auf dieser Innenfläche bis gegen die Mitte der Zelle oder bis zum gegenüberliegenden Pol fortglitschen. Die motorischen Kräfte, welche bei freischwebenden Körperchen die tanzende Molecularbewegung hervorrufen, weil ihre Resultirende jeden Augenblick eine andere Richtung erhält, werden also hier durch den Contact der Körnchen mit Plasma soweit modificirt, dass sie eine in gleicher Richtung fortschreitende Bewegung bedingen. Es liegt nun sehr nahe, die Körnchenbewegung in den Tradescantienhaaren einer ähnlichen Ursache zuzuschreiben, vorausgesetzt, dass die Körnchen, wie es wahrscheinlich ist, der Oberfläche der Plasmabänder aufsitzen. Die Erscheinung wäre also hienach aufzufassen als die Wirkung von Kräften, welche in den Körnchen selbst ihren Sitz haben, und welche hinreichend stark sind, um die Reibungswiderstände der anliegenden Medien zu überwinden.

---

*) Pflanzenphysiol. Untersuch. I.

Auf ein ähnliches Spiel von Kräften muss auch die eigenthümliche Bewegung des Plasmas zurückgeführt werden. Es kann Niemanden befriedigen, Lebensäusserungen, wie die in Frage stehenden, unter die Rubrik der Contractilitätserscheinungen gestellt zu sehen, aus dem einfachen Grunde, weil damit eigentlich gar Nichts erklärt ist, zumal der Begriff der Contractilität, wie er bei Plasmagebilden angewendet wird, bis jetzt der Klarheit und Fassbarkeit entbehrt. Hält man an der ursprünglichen, dem Sprachgebrauche conformen Fassung des Begriffes fest, so bedeutet Contraction einer organisirten Substanz nichts Anderes, als eine Annäherung ihrer festen Theilchen — ein Vorgang, welcher natürlich nur denkbar ist, wenn entweder Wasser aus den Molecularinterstitien austritt, oder wenn die Substanz sich senkrecht zur Contractionsrichtung ausdehnt. Im einen wie im andern Falle können Strömungen in einer halbflüssigen Substanz in Folge von Contractionen nur dann entstehen, wenn dieselbe in einer verhältnissmässig festen Röhre eingeschlossen ist und wenn die letztere sich entweder an einer bestimmten Stelle, ähnlich wie im Kreislauf des Blutes das pulsirende Herz, abwechselnd contrahirt und expandirt oder aber nach einer bestimmten Richtung wellenartig fortschreitende Pulsationen zeigt. 362

Von solchen Pulsationen ist nun aber an den strömenden Plasmafäden nichts zu sehen, und was die peripherische Hülle betrifft, welche man allfällig als relativ feste Röhre betrachten könnte, so ist dieselbe allerdings etwas dichter und membranähnlich; sie besteht aber nichtsdestoweniger aus einer halbflüssigen, selbst in Bewegung begriffenen Substanz, die bei der Vereinigung zweier Plasmafäden mit einer andern ähnlichen Substanz zusammenfliesst. Unter solchen Verhältnissen kann durch Contraction nur eine Formveränderung, nicht aber eine Strömung des Plasmas hervorgerufen werden.

Vom mechanischen Gesichtspunkte aus betrachtet, fehlt also der Contractilitätstheorie, wie man sieht, alle und jede Berechtigung. Was nun noch die physiologische Seite des Vorganges betrifft, worauf in neuester Zeit vorzugsweise Gewicht gelegt wurde, wir meinen das Verhalten des strömenden Plasmas zum galvanischen Strom, so will uns auch hier nicht einleuchten, dass die beobachteten Thatsachen zu den Folgerungen berechtigen, die man daraus gezogen hat. Die Versuche, die wir selbst mittelst eines kleinen Inductionsapparates, welcher durch ein Bunsen'sches Zinkkohlenelement getrieben wurde, mit verschiedenen Objecten (Vallisneria, Chara, Tradescantia) ange- 363

stellt haben, und die Vergleichung der erzielten Effecte mit der Wirkung chemischer Reagentien bestärkten uns vielmehr in der Ueberzeugung, dass man es im einen wie im andern Falle mit Lebensstörungen, resp. mit Erscheinungen des Absterbens zu thun hat, deren Verlauf zwar theilweise von der Natur des Reagens abhängig ist, die aber dessenungeachtet im Allgemeinen übereinstimmen. Die erste Wirkung einer beliebigen störenden Ursache besteht immer darin, dass die Bewegung der in das Plasma eingebetteten Körnchen aufhört. Manche Reagentien, wie z. B. Iodlösung, rufen überhaupt keine weiteren Veränderungen (ausser der Färbung) hervor, wenigstens nicht bei Tradescantia, deren Staubfädenhaare wir hier vorzugsweise im Auge haben. . Bei Anwendung von Alkalien oder Säuren, desgleichen unter dem Einfluss elektrischer Schläge, kommen dagegen noch mehr oder minder auffallende Formveränderungen des Plasma's hinzu, welche bald in tropfenartigen Auftreibungen, bald in der Vereinigung und Abrundung vorher getrennter Plasmamassen bestehen.*) Sehr eigenthümlich ist namentlich die Wirkung des Ammoniaks. Dasselbe bedingt in der Mehrzahl der Fälle ein langsames Zusammenfliessen der Plasmabänder in der Richtung gegen den Kern, wo man sie später sämmtlich zu einer unregelmässig-rundlichen Masse ohne alle Fortsätze verschmolzen findet. Hie und da kommt es auch vor, dass grössere Plasmapartieen, die sich eben in beträchtlicher Entfernung vom Kerne befinden, ein besonderes Vereinigungscentrum darstellen. Die Verbindungsfäden reissen dann ab und fliessen mit den beiden Massen zusammen.

364 Wollte man Erscheinungen, wie die eben erwähnten, als Contractionen bezeichnen, so würde diess zwar dem Eindruck, den sie gewähren, nicht gerade widersprechen. Uns scheint indess eine andere Auffassung, die den Thatsachen mindestens ebenso gerecht wird, viel näher zu liegen. Wir halten es für möglich und wahrscheinlich, dass alle die Formveränderungen, welche durch Reize hervorgebracht werden, einfach Folgen jenes Strebens nach Abrundung sind, welches bei jedem flüssigen oder halbflüssigen Medium zur Geltung kommt, sobald die besonderen Kräfte, die ihm eine andere Gestalt verleihen, zu wirken aufhören. In den Plasmabändern wird sich dieses Streben um so deutlicher äussern, je weniger die Verschiebbarkeit der Molecüle durch die Einwirkung des Reagens leidet; es wird in

*) Näheres über die Wirkung des galvanischen Stromes auf Thier- und Pflanzenzellen findet man weiter unten im Capitel über Elektricität.

jedem einzelnen Theile vollständig erlöschen, sobald das Plasma durch Coagulation in den festen Zustand übergeführt ist. Damit ist aber auch die Möglichkeit gegeben, dass die abweichende Art und Weise, wie die verschiedenen Reize den Molecularzustand des Plasma's verändern, die mancherlei Abweichungen im Formenwechsel bedingen, welche man im Momente der Einwirkung oder während des Absterbens beobachtet.

Die Vergleichung der durch Reize veranlassten Plasmabewegungen mit dem Tetanus der Muskeln erscheint also vorläufig mindestens gewagt, und vollends ungerechtfertigt ist es, die Strömungen in der lebenskräftigen Zelle damit in irgend einen Zusammenhang zu bringen.

Um bestimmtere Vorstellungen über die Wirkungsweise der 365
Kräfte zu gewinnen, welche das Strömen des Plasma hervorrufen, wird man am besten thun, die Erscheinung vorläufig so aufzufassen, wie sie sich dem Auge darstellt: als eine fortschreitende Bewegung eines halbflüssigen Mediums in einem leicht flüssigen. Alsdann ist zunächst klar, dass an der Grenzfläche der beiden Medien eine Kraft wirken muss, welche das Fortrücken der einzelnen Theile bedingt. Welcher Natur die Kräfte auch sein mögen, die im strömenden Plasma selbst frei werden, sie setzen sich an der Grenzfläche der Plasmafäden jedenfalls in mechanische Kraft um, weil die Bewegung an und für sich ein mechanischer Vorgang ist. Der wässerige Zellsaft bietet dem Plasma, ähnlich wie das Wasser dem Fisch und die Luft dem Vogel, die Stützpunkte dar, deren es zum Fortschieben seiner Theile, wie jedes Object das die bewegende Kraft in sich selbst entwickelt, bedarf.

Für die Theorie ergibt sich hieraus die weitere Consequenz, dass die Wassertheilchen in der Umgebung der Plasmafäden einen Impuls in entgegengesetzter Richtung erhalten und in Folge dessen in eine gegenläufige Strömung versetzt werden, welche dieselbe Summe lebendiger Kraft repräsentirt, wie die Plasmaströmung. Dass wir die Wirkung dieser Gegenströmung, obschon sie auf die stärker hervorragenden Plasmamassen hemmend einwirken muss, nicht beobachten, erklärt sich durch die sehr natürliche Annahme, dass diese Massen vermöge ihres grösseren Querschnittes auch eine entsprechend stärkere motorische Kraft entwickeln. Die Vertheilung dieser Kraft an der Oberfläche der Plasmafäden lässt sich überhaupt in sehr verschiedener Weise denken, da ja die unbekannte Quelle derselben von Punkt zu Punkt variiren kann und mit den wechselnden Formver-

hältnissen jedenfalls variiren muss. In dieser Beziehung ist offenbar jede Voraussetzung gestattet, welche zur Erklärung beobachteter Strömungsvorgänge nothwendig erscheint Man begreift auch, dass die mit den Formen wechselnde Vertheilung der Kräfte, verbunden mit dem Widerstande des umgebenden Mediums, eine allmähliche, aber regellose Verschiebung des ganzen Stromnetzes zur Folge haben muss.

Da die bewegende Kraft zunächst auf die Oberfläche wirkt, so müssen die Plasmatheilchen sich hier rascher bewegen als tiefer im Innern. Bei der halbflüssigen Natur des Plasma's ist sogar eine sehr beträchtliche Differenz der Geschwindigkeiten denkbar. Erwägt man diess, so kann die Erscheinung der gegenläufigen Strömungen im Plasma selbst, ohne dass eine indifferente Zone zwischen denselben bemerkbar wäre, nicht mehr auffallen. Denn wenn entgegengesetzte motorische Kräfte an benachbarten Punkten der Oberfläche wirksam sind, so fällt die Zone, wo sie sich gegenseitig aufheben, jedenfalls sehr schmal aus, und es wird begreiflich, dass sie sich unserer Beobachtung entzieht.

366 Wir haben im Vorhergehenden vorzugsweise die Plasmaströme in den Staubfädenhaaren von Tradescantia und die damit übereinstimmenden in den Brennhaaren der Nessel etc. im Auge gehabt. Die gegebene Darstellung lässt sich übrigens auch auf andere Strömungs- und Bewegungserscheinungen, die in oder ausserhalb der Zelle vorkommen, übertragen. Ueberall haben die motorischen Kräfte, so nehmen wir an, ihren Sitz an der Oberfläche sich berührender heterogener oder doch verschieden organisirter Medien; die Unterschiede, die in den Effecten hervortreten, beruhen nur darauf, dass die Richtung der Resultirenden sich bald jeden Augenblick ändert, wie bei der sog. Molecularbewegung, bald längere Zeit constant bleibt, wie bei den Strömungen und Glitschbewegungen. Dazu kommt dann noch, dass zuweilen nur das eine der beiden Medien beweglich ist und dann auf dem ruhenden dahingleitet, während in andern Fällen zwei Flüssigkeiten auf einander einwirken, die beide verschiebbar sind. Die bekannten Rotationsströme der Charen werden z. B., wie sich aus den bekannten Thatsachen (s. Nägeli, Beiträge zur wiss. Botanik Heft II) mit grösster Wahrscheinlichkeit ergibt, durch eine Kraft unterhalten, welche in dem unbeweglichen Primordialschlauch erzeugt wird und von hier aus sowohl dem anliegenden Plasma als dem wässerigen Zellinhalt eine gleichsinnige Be-

wegung ertheilt.*) Wären die Flächenelemente des Primordialschlauches beweglich, so müssten sie natürlich in entgegengesetzter Richtung rotiren.

Ueber die Natur der Kräfte, welche die Plasmabewegungen 367
bedingen, sind wir vorläufig rein auf Vermuthungen angewiesen. Was ist natürlicher, als dass man unter solchen Umständen zu elektrischen Strömen seine Zuflucht nimmt? Man weiss, dass solche Ströme auf die Bewegung der Flüssigkeiten bei der Diosmose influiren und hat daher eine gewisse Berechtigung, sie auch in unserem Falle motorisch wirken zu lassen. Allein auf der anderen Seite fehlen bis jetzt alle und jede Anhaltspunkte, welche etwa darauf hindeuteten, dass ein in bestimmter Richtung durch oder um die Zelle geführter galvanischer Strom gleichsinnige und gegenläufige Plasmaströme ungleich afficirt, z. B. den einen beschleunigt und den andern verlangsamt, wie es doch wohl der Fall sein müsste, wenn die bewegenden Kräfte selbst elektrischer Natur wären. — Vielleicht gelingt es der Experimentalphysiologie, in dieser Frage in nicht zu ferner Zukunft einen Schritt weiter zu thun.

---

*) Diese Auffassung der Strömungsvorgänge in den Charenzellen stützt sich namentlich auf die Art und Weise, wie die Stromgeschwindigkeit von der Oberfläche nach innen zu abnimmt, sowie auf die Unabhängigkeit derselben von der chemischen Beschaffenheit der im Zellsaft schwimmenden, bewegten Körper. Beide Momente sind unvereinbar mit jeder Theorie, welche die treibenden Kräfte in diese Körper selbst verlegen und dem Zellsaft eine rückläufige Bewegung zuschreiben wollte. Sie stehen auch im Widerspruch mit der Ansicht, welche neuerdings Hofmeister (Flora 1865 pag. 7) über die Mechanik der Plasmabewegungen mitgetheilt hat. Diese Ansicht will uns übrigens auch für die andern, von Hofmeister speciell angeführten Fälle nicht recht einleuchten, da uns die Vorstellung, worauf sie hinausläuft, dass nämlich in dem halbflüssigen Plasma zwei entgegengesetzte Strömungen stattfinden: eine fortschreitende der Plasmapartikelchen und eine rückläufige des eingelagerten Wassers, weder vom mechanischen Standpunkte aus günstig, noch vom atomistischen plausibel erscheint. Denn mechanisch hätte man es mit zwei entgegengesetzten Bewegungen kleinster Theilchen zu thun, welche die gleiche Summe lebendiger Kraft repräsentiren, dabei aber den Eindruck einer einseitigen (Plasma-) Strömung hervorrufen, atomistisch mit Kräften, welche an der Oberfläche der Plasmapartikelchen ihren Sitz haben und sowohl diese als die angrenzenden Wassertheilchen (etwa nach Art einer Wimperbekleidung) in Bewegung setzen. Das sind Vorstellungen, für welche, wie uns scheint, die Analogieen durchaus mangeln.

II.

Feste Körper.

1. Das Erkennen des Aggregatzustandes.

368 Wie sich die festen Körper von den flüssigen unterscheiden, lässt sich eigentlich schon aus den oben mitgetheilten Eigenschaften der Lösungen entnehmen, da eine Verwechslung mit luftführenden Räumen nicht leicht möglich ist. Das richtige Erkennen des Aggregatzustandes wird überhaupt nur in zwei Fällen schwieriger, nämlich 1) bei halbflüssigen gallertartigen Medien und 2) bei kleinen rundlichen Körperchen. Was die ersteren betrifft, so verhindern sie im Gegensatz zu den Lösungen sowohl die Moleeularbewegung als das Steigen oder Fallen kleiner Körnchen, welche in denselben suspendirt sind, und liefern dadurch ein Kriterium, welches in manchen Fällen, wo es sich z. B. um die Frage handelt, ob der innere Theil eines festen Körpers gelöst oder aufgequollen sei, Anwendung findet.

Sind gallertartige Medien in unmittelbarer Berührung mit dem Wasser, so behalten sie natürlich bestimmte Umrisse, die jedoch in schwierigeren Fällen, wovon hier allein die Rede ist, nicht wahrnehmbar sind. Die Grenzlinien treten indess deutlich hervor, wenn es gelingt, durch ein geeignetes Reagens eine verschiedene Färbung der Gallerte hervorzurufen. So wird z. B. Stärkekleister in Wasser durch Iodlösung, die Extracellularsubstanz (Hüllmembran) mancher Algen durch Trübung des Wassers sichtbar.

Körnige Gebilde sind von kleinen Tröpfchen darin verschieden, dass sie nie die genaue Kugelform der letzteren zeigen und selbstverständlich auch nicht zusammenfliessen, während z. B. Oeltröpfchen nach Zusatz von Alkohol sich leicht vereinigen.

2. Elasticität, Weichheit, Dehnbarkeit.

369 Zu den Eigenschaften eines festen Körpers, deren Kenntniss für die mikroskopische Untersuchung von Bedeutung ist, gehört auch das Verhalten desselben gegen äussere Kräfte, welche eine Formveränderung zu bewirken streben. Nach dem grösseren oder geringeren Widerstande, welchen die Körper einem Druck oder Zug entgegensetzen, theilt man dieselben in harte und weiche; beide sind elastisch oder unelastisch, je nachdem sie nach erfolgter Aenderung der Gestalt von selbst wieder ihre ursprüngliche Form anneh-

men oder nicht. Die Körper sind ferner dehnbar, wenn sie grössere Formveränderungen erleiden, ohne den Zusammenhang zu verlieren, und spröde, wenn sie diese Eigenschaft nicht oder nur in geringem Grade besitzen.

Um zu ermitteln, in welche Kategorie ein mikroskopisches Object gehört, ist in manchen Fällen ein directes Verfahren anwendbar, wie es der Physiker im Grossen einschlägt. Man drückt auf den hinlänglich isolirten Gegenstand durch Aufsetzen der Nadel auf das Deckgläschen oder, wo es angeht, auch direct; man zerrt ihn mit Hülfe zweier Nadeln auseinander u. s. w. Auf diese Weise überzeugt man sich z. B., dass die Stärkekörner und Proteinkrystalloide in hohem Grade spröde sind, indem sie schon bei geringem Druck Risse bekommen oder in Stücke zerfallen, während die Zellkerne, wie überhaupt die Plasmagebilde, sich dehnbar erweisen.

Ueber das Verhalten des Plasmaschlauches oder Primordialschlauches geben die Erscheinungen Aufschluss, welche man beim Ablösen desselben von der Zellwandung auf Zusatz von Zuckerlösung und beim Freiwerden der Schwärmsporen beobachtet. In beiden Fällen zieht er sich zuweilen an den Stellen, wo er an der Wandung oder an der Austrittsöffnung haften bleibt, in lange Fäden aus, welche beim Zerreissen nach Art einer schleimigen Flüssigkeit sich in die Hauptmasse zurückziehen, ohne hier irgend welche Erhabenheiten zu verursachen. So z. B. bei *Spirogyra* und beim Ausschlüpfen der Schwärmsporen von *Stigeoclonium*.

Der Plasmaschlauch ist also in hohem Grade dehnbar; er verhält sich wie eine halbflüssige Substanz, etwa wie Gummischleim. An Elasticität ist unter solchen Verhältnissen nicht zu denken; sie ist bei schleimigen Flüssigkeiten, deren Fäden in der angegebenen Weise zusammenfliessen, geradezu unmöglich. Dass der Schlauch bei der Volumenabnahme des flüssigen Zellinhaltes sich zusammenzieht, ohne Falten zu bilden, und sich nachher durch Wasseraufnahme wieder ausdehnt, gewährt zwar den Anschein der Elasticität, beweist aber in Wirklichkeit nur die Verschiebbarkeit seiner Molecüle. Ein verletzter Plasmaschlauch behält jede Form, die man ihm durch Druck oder Zug gegeben hat, unabänderlich bei.

Die Eigenschaften der Zellmembran sind mit denjenigen des Holzes qualitativ identisch. Man weiss, dass das letztere in hohem Grade elastisch, aber fast gar nicht dehnbar ist; die Membranen müssen sich daher ebenso verhalten. Es unterliegt übrigens keiner Schwierigkeit, sich hievon auch durch die mikroskopische Beobachtung zu über-

zeugen. Bastfasern, Holzzellen etc., welche man durch mechanischen Druck biegt, kehren nach dem Aufhören des Druckes in ihre frühere Lage zurück; die äussere Pollenhaut, welche in Folge der Einwirkung des Wassers sich nicht selten abstreift, wird zunächst durch den Druck des Zelleninhaltes ausgedehnt, zerreisst dann und zieht sich nach dem Abstreifen wieder auf ihren früheren Durchmesser zusammen. Dasselbe beobachtet man auch an der Cuticula der Baumwollenfasern während der Einwirkung von Kupferoxydammoniak. Die cuticularisirten Membranen scheinen überhaupt in höherem Grade dehnbar zu sein, als die nicht cuticularisirten, wesshalb bei jenen auch die Erscheinungen der Elasticität deutlicher in die Augen fallen. Bei den gewöhnlichen Zellmembranen ist die Verlängerung oder Verkürzung, welche durch Zug oder Druck bewirkt wird, in der Regel so gering, dass sie mikrometrisch nicht gemessen werden kann. Das Buchenholz dehnt sich z. B. bis zur Elasticitätsgrenze nur um $^1/_{600}$ seiner Länge, eine einzelne Zelle von 600 Mik. Länge also nur um 1 Mik. aus, und ähnlich verhalten sich auch die meisten anderen harten Membranen. Etwas augenfälliger ist die Dehnbarkeit jener weicheren Membranen, welche die Querwände der Algenfäden bilden und beim Isoliren der Zelle durch den hydrostatischen Druck der Zellflüssigkeit nach aussen gewölbt werden. Da die Dicke der Zellen sich hiebei nicht merklich verändert, so ist die Wölbung nothwendig mit einer beträchtlichen Ausdehnung verbunden.

370 Die Elasticität der Zellmembranen bedingt natürlich auch diejenige der Gewebe: sie erklärt die mancherlei Spannungen und die damit zusammenhängenden Bewegungserscheinungen, welche wir an pflanzlichen Gebilden beobachten. Hier ist daher der Ort, diese schon oben (p. 378) kurz angedeuteten Wirkungen der Elasticitätskräfte genauer ins Auge zu fassen und die Gesetze, denen sie unterworfen sind, soweit möglich festzustellen.

Wir haben hiebei in erster Linie die Frage zu erörtern, ob saftführende Gewebe und andere organisirte Gebilde im imbibirten Zustande sich gegen äussere Kräfte ähnlich verhalten wie ausgetrocknete oder nicht organisirte Körper, z. B. wie Stahl oder Elfenbein. Diese letzteren erleiden bekanntlich durch Druck oder Zug eine kleine Verminderung oder Vermehrung ihres Volumens. Ein Stahldraht, dessen Länge durch Ziehen von 1 auf $1 + a$ zunimmt, wird ungefähr im Verhältniss von 1 zu $1 - \frac{a}{4}$ dünner und sein Volumen nimmt etwas zu.

Ebenso bewirkt die Compression eines trockenen elastischen Körpers eine entsprechende Volumenverminderung. Man könnte nun versucht sein, diese Verhältnisse ohne Weiteres auf safterfüllte organisirte Körper zu übertragen; allein bei näherer Berücksichtigung der Molecularstructur und der damit zusammenhängenden Eigenthümlichkeiten organisirter Substanzen erweist sich eine solche Uebertragung, wie wir sogleich darthun werden, unstatthaft.

Betrachten wir zunächst ein isolirtes und mit Wasser durch- 371 tränktes Membranstück, etwa eine Lamelle aus einem Caulerpa-Thallus, eine bis zum Verschwinden des Lumens verdickte Bastfaser, eine Spiralfaser etc., so ergiebt sich aus dem Verhalten derselben zum polarisirten Licht, dass Streckungen, Biegungen und andere ähnliche Einwirkungen die Anordnung der Atome in den krystallinischen Molecülen nicht merklich ändern (vgl. pag. 355), dass somit bloss die Entfernungen der Molecüle unter sich vergrössert oder verkleinert werden. Andererseits ist bekannt, dass das Wasser in imbibirten Membranen mit grosser Kraft zurückgehalten wird, und die mikroskopische Beobachtung lehrt, dass dasselbe durch Biegen oder Comprimiren des Objects sich nicht herauspressen lässt. Es bleibt demzufolge nichts anderes übrig, als anzunehmen, dass der Wassergehalt einer Membran im gespannten Zustande derselbe sei, wie im neutralen. Die Wassertheilchen werden also durch äussere Kräfte bloss verschoben, aber nicht verdrängt; sie bewegen sich z. B. beim Biegen eines Objects von der concaven nach der convexen Seite hinüber, füllen aber nach wie vor die Molecularinterstitien der Substanz vollständig aus und nehmen, da die Summe ihrer Spannungen nur wenig geändert ist, auch nahezu denselben Raum ein.

Wenden wir jetzt dasselbe Raisonnement auf interstitienlose saft- 372 erfüllte Gewebe an, so ist an und für sich klar, dass die Membranen hier ebensowenig, wie im vorhergehenden Falle, eine Volumenveränderung veranlassen. Das Nämliche gilt aber auch von der in den Zellen enthaltenen Flüssigkeit. Es kann sich also nur noch fragen, ob vielleicht die Spannungsveränderungen, welche durch äussere Kräfte bewirkt werden, die Permeabilität der Membranen, wenigstens stellenweise, modificiren. Wäre diess der Fall, so müsste durch Zusammendrücken eines Gewebes, weil dadurch der hydrostatische Druck auf die Wandungen jedenfalls nicht verkleinert, der Widerstand der Membranen aber geschwächt würde, offenbar ein Theil der

Zellflüssigkeit herausgepresst werden, und die so erzeugte Strömung würde selbstverständlich fortdauern, bis der allmählich sinkende hydrostatische Druck dem verminderten Widerstand der Membranen wieder das Gleichgewicht hielte. In gleicher Weise müsste das Auseinanderziehen eines Gewebes ein Einströmen von Wasser oder, wenn das Object isolirt ist, die Bildung eines leeren Raumes zur Folge haben. — Sind dagegen die Spannungsveränderungen, wie sie in der Pflanze vorkommen, ohne merklichen Einfluss auf die Permeabilität, so verhalten sich die Gewebe wie imbibirte Membranen: sie nehmen in jedem beliebigen Zustande der Spannung immer beinahe denselben Raum ein.

373 Die eben entwickelten Consequenzen sind sowohl für Membranen als für saftführende Gewebe streng genommen richtig, so lange das Spiel jener Moleeularkräfte, die das Leben bilden, nicht alterirt wird. Man darf aber nicht vergessen, dass oft nur ein geringer Anstoss von aussen nöthig ist, um diese Alteration in sehr augenfälliger Weise herbeizuführen. Wenn z. B. die Membranen mancher Algenfäden in Zuckerlösung auf das Doppelte ihrer ursprünglichen Dicke anschwellen, ohne ihre Längendimension zu verändern; wenn eine ähnliche Quellung auch bei entzwei geschnittenen oder verletzten Spirogyrenzellen vorkommt, so sind das offenbar Erscheinungen, für welche die von aussen einwirkenden Kräfte keinen Maassstab bieten. Wenn man ferner beobachtet, dass der Primordialschlauch sich unter der Herrschaft des Lebens anders verhält als in der todten oder tödtlich verletzten Zelle; dass Druck auf eine im Wasser befindliche Zelle Exosmose, die sonst nicht eingetreten wäre, hervorruft und dass die letztere noch fortdauert, wenn der Druck zu wirken aufgehört hat, so kann man sich der Ueberzeugung nicht verschliessen, dass die kleinsten Theilchen der lebenden Zellhäute sich gewissermaassen in einem Zustande labilen Gleichgewichts befinden, welcher durch verhältnissmässig kleine Eingriffe leicht gestört wird.*)

Unter diesen Umständen lässt sich das Verhalten organisirter Gebilde unter dem Einfluss von Kräften, die eine Formveränderung bewirken, nicht ein für allemal feststellen. Wenn es auch nicht wahrscheinlich ist, dass Spannungen und Spannungsänderungen, wie sie z. B. zwischen der Epidermis und dem Parenchym der Blätter, zwischen der Rinde und den Gefässbündeln krautartiger Stengel

---

*) Vgl. Nägeli, Pflanzenphysiol. Unters. I pag. 32.

oder Wurzeln etc. vorkommen, eine Alteration der molecularen Verhältnisse in dem eben bezeichneten Sinne hervorrufen, so kann doch in jedem gegebenen Falle nur der Versuch entscheiden, ob die Formveränderungen gespannter Gewebe mit Volumenveränderungen verbunden seien oder nicht, und ob diese letzteren langsam oder plötzlich stattfinden. Die mitgetheilten theoretischen Erörterungen werden übrigens dadurch keineswegs überflüssig, denn sie zeigen, dass eine allfällige Zu- oder Abnahme des Volumens von verschiedenen Ursachen herrühren kann und geben somit dem Beobachter Veranlassung, in der Deutung solcher Erscheinungen vorsichtig zu sein.

Wie die Elasticität, so sind natürlich auch die übrigen Eigen- 374
schaften der Gewebe von denjenigen der Membranen abhängig. Harte oder weiche Membranen werden dem Gewebe ihre Härte oder ihre Weichheit, dehnbare Membranen einen gewissen Grad von Dehnbarkeit verleihen u. s. f. Allein hiemit ist der Zusammenhang, welcher zwischen den Eigenschaften der Gewebe und denjenigen der Elementarorgane besteht, noch keineswegs erschöpft. Es fragt sich jetzt weiter, welche Momente überhaupt bei dieser oder jener Eigenschaft eines Gewebes in Betracht kommen und in wie weit sie maassbestimmend darauf einwirken.

Was zunächst die Elasticität betrifft, so lässt sich nachweisen, dass dieselbe in Geweben zum Theil von einem Factor herrührt, der von der Elasticität der Membranen unabhängig ist, oder mit andern Worten, dass ein Gewebe selbst dann noch elastisch sein müsste, wenn die Wandungen der Zellen, woraus es besteht, bloss dehnbar, aber durchaus unelastisch wären. Diess folgt schon aus dem Verhalten der Zelle. Jede einzelne Zelle hat vermöge ihres flüssigen Inhalts das Bestreben, Kugelform anzunehmen, und bringt dasselbe zur Geltung, soweit der Widerstand ihrer Wandung, letztere mag nun aus Protoplasma oder aus Cellulose bestehen, diess gestattet. Sie nimmt also eine bestimmte Form an und kehrt nach jeder Aenderung derselben, welche durch äussere Kräfte veranlasst wurde, zu dieser Form zurück. Ganz dasselbe gilt natürlich auch für Gewebe. Ein beliebiger Zellcomplex muss unter dem Einfluss des hydrostatischen Druckes, den der Zellsaft ausübt, das Bestreben haben, sich abzurunden, und wenn die Membranen dehnbar sind, wie eine Plasmahaut, so wird schon bei mässigem Druck das Gleichgewicht nicht eher hergestellt sein, als bis die Kugelform wirklich annähernd erreicht ist.

375 Wir wollen diess an einem Beispiel noch näher veranschaulichen. Man denke sich eine aus dehnbarer Substanz in grossem Maassstab construirte Zellgruppe, bestehend aus 8 würfelförmigen, durch feine Oeffnungen communicirenden Zellen (Fig. 196) und eingerichtet, um einen gleichmässigen hydrostatischen Druck von innen wirken zu lassen. In einem solchen Apparat lassen sich die Kräfte, welche dehnend auf die verschiedenen Scheidewände einwirken, leicht berechnen. Es sei der Druck, der von innen auf die Würfelfläche ausgeübt wird = 100, der äussere Luftdruck beliebig kleiner, beispielsweise = 50. Die peripherischen Würfelflächen wölben sich alsdann vermöge ihrer Dehnbarkeit nach aussen, wobei auch die Eck- und Seitenkanten eine schwache Krümmung in gleichem Sinne erfahren. Wir wollen jedoch, der einfacheren Vorstellung wegen, von dieser Krümmung vorläufig absehen, indem wir annehmen, die senkrecht zur Papierfläche verlaufenden Kanten *a*, *b* und *c* bestehen aus unbiegsamen Stäben, und die Krümmung der Kanten *ab* und *bc* in der Richtung senkrecht zur Papierebene sei zu vernachlässigen, wie es z. B. der Fall sein würde, wenn unsere Zellgruppe nach oben und unten von 2—3 ähnlichen begrenzt wäre.

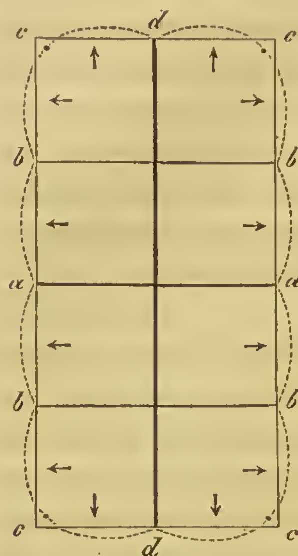


Fig. 196.

Diess vorausgesetzt, influirt die Vergrösserung der Würfelflächen durch Wölbung in den 4 mittleren Zellen bloss auf die Gesammtsumme der radialen Kräfte, die darauf einwirken; diese Summe ist der jeweiligen Oberfläche proportional. Allein die Componente derselben, welche senkrecht zur Mittellinie *dd*, also in der Richtung der Pfeile wirksam ist, bleibt constant. Es ist nämlich ein allgemeines Gesetz, dass ein gleichmässiger Druck, der auf alle Punkte einer Halbkugel oder Kugelcalotte in radialer Richtung ausgeübt wird, in seinem Effect auf die Grundfläche gleich ist dem Druck auf diese Grundfläche selber. Die Grundfläche bleibt aber für die Aussenwandungen der mittleren Zellen dieselbe, weil die Entfernung der Scheidewände wegen der geringen Dehnung der Zellen in der Längsrichtung sich so gut wie nicht verändert. Folglich bleibt auch der Gesammtdruck nach aussen derselbe.

Anders verhalten sich dagegen die Eckzellen, weil hier der einseitige Druck eine Verschiebung der Kante *c* und damit eine Verkleinerung der entsprechenden Grundflächen zur Folge hat. Die Verhältnisse sind ganz ähnlich wie bei einem Gewölbe, das auf zwei Mauern ruht. Wie diese letzteren durch die Last des Gewölbes nach aussen gedrückt werden, so müssen die Wölbungen *bc*, weil hier der Druck von innen wirkt, die Kante *c* nach einwärts, d. h. in den obern Ecken nach unten, in den unteren nach oben ziehen, indess die Wölbungen *cd* aus demselben Grunde einen Zug gegen die Mittellinie *dd* ausüben. Der Punkt *c* muss also in der Richtung der Diagonale nach innen rücken.

Man mag nun den Druck, der in den Eckzellen wirksam ist, auf die beiden Pfeile vertheilen, wie man will, das Resultat bleibt in der Hauptsache dasselbe. Am natürlichsten ist es, den Punkt *c* nach wie vor als Grenzpunkt zu betrachten. Dann ist offenbar die Kraftsumme, welche auf die Querrichtung fällt, geringer als in den 4 mittleren Zellen, weil die Grundfläche eine kleinere ist; sie mag beispielsweise durch 90, statt durch 100 repräsentirt sein. Dieselbe Kraft wirkt auch parallel *dd*.

Der Zug, welcher auf die Scheidewände *aa*, *bb* und *dd* ausgeübt wird, berechnet sich jetzt wie folgt. Auf jede Wand wirkt der halbe Seitendruck der beiden anstossenden Zellen, also auf $aa = \frac{1}{2}(100 + 100) = 100$, auf $bb = \frac{1}{2}(100 + 90) = 95$, endlich auf $dd = \frac{1}{2}(90 + 90) = 90$. Man ersieht hieraus, dass die Ausdehnung in der Richtung *aa* am stärksten, in der Richtung *dd* am schwächsten sein wird.

Zu demselben Resultat müsste man natürlich auch mit Bezug auf die zur Papierfläche senkrechte Richtung gelangen, man mag nun die 8 Zellen für sich allein oder in Verbindung mit darüber und darunter liegenden ähnlich gruppirten betrachten. Man begreift auch, dass die Biegsamkeit der Kanten, welche im Vorhergehenden vernachlässigt wurde, die Berechnung der Kraftsummen zwar etwas complicirt, das Endresultat aber nicht wesentlich beeinträchtigt. Die Ausdehnung unserer Zellgruppe wird also nothwendig in der Richtung des kleinsten Durchmessers am grössten, in der Richtung des grössten Durchmessers am kleinsten sein. Sie wird bei hinreichender Dehnbarkeit der Membranen oder wenn die Membranen in einem ihren Spannungsverhältnissen entsprechenden Maasse durch Intussusception wachsen, zuletzt zur Kugelform führen *).

*) Dass das Streben nach Abrundung sich in der Wirklichkeit nur selten geltend macht, kann bei Zellen und Zellcomplexen, die noch im Wachsthum be-

376 Die Form, welche ein Gewebe unter dem Druck des Zellinhaltes annimmt, ist überhaupt ganz allgemein als ein Gleichgewichtszustand zu betrachten, in welchen dasselbe nach jeder Formveränderung, welche durch Druck oder Zug hervorgerufen wird, zurückkehrt, die Membranen mögen nun elastisch sein oder nicht. Der Unterschied besteht nur darin, dass elastische Membranen ein rasches Zurückkehren, nicht elastische ein um so langsameres bedingen, je grösser ihre Widerstandskraft.

Im Uebrigen stehen die Elasticitätsverhältnisse der Gewebe (Elasticitätsgrenze, Elasticitätsmodul), wie aus dem Gesagten hervorgeht, mit der Dehnbarkeit und Elasticität der Membranen in einem ziemlich verwickelten Zusammenhang. Ein aus kugelförmigen Zellen bestehendes Parenchym kann z. B. beträchtlich verlängert oder verkürzt werden, obschon die einzelnen Membranen nur einer geringen Veränderung fähig sind. Es verhält sich gewissermaassen wie eine aus federnden Stahl- oder Kautschukringen bestehende Kette, deren Dimensionsveränderungen bekanntlich vorzugsweise auf der Formveränderung ihrer Glieder beruhen. Ein aus cylindrischen oder prismatischen Zellen zusammengesetztes Gewebe wird dagegen in der Längsrichtung jedenfalls sehr annähernd die Dehnbarkeit und die Elasticität der Membranen zeigen. Dieselbe Dehnbarkeit der Membranen bedingt also je nach der Form der Zellen und der Richtung der wirkenden Kräfte, und wir können hinzufügen je nach dem Druck, den der Inhalt auf die Wandungen ausübt, eine grössere oder geringere Dehnbarkeit der Gewebe. Die letztere ist aber unter allen Umständen nur eine Folge der ersteren und ohne dieselbe nicht denkbar.

377 Die übrigen Eigenschaften der Gewebe betreffend, so verdient nur die Biegungsfestigkeit oder Steifheit derselben eine genauere Betrachtung. Dieselbe hängt bekanntermaassen nicht bloss von der Festigkeit der Membranen, sondern auch vom hydrostati-

griffen sind, nur daher rühren, dass die Membranen der Einlagerung von Molecülen zwischen die schon vorhandenen oder der Verschiebung der letzteren in den verschiedenen Richtungen ungleiche Widerstände entgegensetzen. Wenn z. B. eine Spirogyrenzelle in Folge ihres Wachsthums bei vorherrschendem inneren Druck um ein Vielfaches länger wird, ohne sich in der Mitte bauchig zu erweitern, so folgt hieraus, dass die Molecularreihen eine Einschiebung neuer Molecüle nur in der Längsrichtung, nicht aber in der Richtung des Umfangs gestatten. Die Dehnbarkeit oder Wachsthumsfähigkeit ist also nach verschiedenen Richtungen ungleich.

schen Druck des Zelleninhaltes ab, und zwar gibt sich dieser letztere Einfluss bei dünnwandigen safterfüllten Geweben in sehr augenfälliger Weise kund. Ein solches Gewebe ist schlaff, wenn der hydrostatische Druck des Inhaltes und der äussere Luftdruck einander gleich sind; es wird dagegen mehr oder weniger steif, wenn die Membranen durch vorwiegenden Druck von innen, wie er im Zustande der Turgescenz immer vorhanden ist, negativ gespannt werden. Das Gewebe verhält sich in dieser Beziehung wie ein mit Wasser gefüllter Schlauch von Kautschuk, dessen Steifheit in gleicher Weise mit dem hydrostatischen Druck oder, was dasselbe ist, mit dem Volumen des Wassers, das in denselben hineingepresst wird, zunimmt.

So lange die Elasticitätsgrenze der Wandungen nicht überschritten wird, wächst die Spannung derselben nothwendig in dem nämlichen Verhältniss, wie der hydrostatische Druck; sie erreicht bei doppeltem Druck einen doppelten, bei dreifachem Druck einen dreifachen Werth u. s. f. In einem ähnlichen, wenn auch nicht genau zu bestimmenden Verhältniss wächst natürlich auch die Steifheit des Schlauches oder des Gewebes. Je mehr Wasser ein Gewebe unter übrigens gleichen Umständen aufnimmt, desto grösser ist der Widerstand, den es einer Biegung oder einer beliebigen Formveränderung durch äussere Kräfte entgegensetzt.

Wenn wir also ein Gewebe in einem bestimmten Spannungszustande als gegeben betrachten, so kann eine Spannungsverminderung nur durch Wasserabgabe, eine Spannungsvermehrung nur durch Wasseraufnahme bewerkstelligt werden, — natürlich unter der Voraussetzung, dass ausser dem hydrostatischen Druck und den constanten Elasticitätskräften der Membran keine andern Kräfte wirksam seien. Das Gewebe zeigt folglich bei jeder Spannungsveränderung eine unter Umständen messbare, der ausgetretenen oder aufgenommenen Wassermenge entsprechende Ab- oder Zunahme des Volumens.

Wie verhält es sich aber, wenn die Kräfte, welche die Veränderungen in der Biegungsfestigkeit bewirken, in den Membranen selbst ihren Sitz haben, wenn z. B. diese letzteren auf irgend eine äussere Veranlassung (Reiz) plötzlich das Bestreben zeigen, ihre Molecularconstitution zu verändern? In diesem Falle ist voraussichtlich eine Ab- oder Zunahme des Volumens nicht unbedingt nothwendig. Die Membranen können ihren molecularen Bau und damit ihre Steifheit modificiren, ohne ihre äussere Gestalt merklich zu ändern. Demzufolge kann auch ein Gewebe einen höhern oder geringern Grad von Steifheit oder Schlaffheit annehmen, ohne dass damit eine nachweis-

bare Volumveränderung verbunden wäre. Diese würde selbst dann nicht erfolgen, wenn die Membranen in Folge der molecularen Vorgänge das Bestreben hätten, sich auf einen kleineren Raum zusammen zu ziehen. Sie würden zwar unter dieser Voraussetzung einen Druck auf den Zellsaft ausüben; der letztere müsste aber desswegen nicht nothwendig ausfliessen, weil diess ja auch bei der Verstärkung der Spannung durch Endosmose nicht geschieht.

Die innern Veränderungen der Membranen bedingen also an und für sich, obschon sie möglicher Weise die Steifheit der Gewebe merklich modificiren, keine augenfälligen Volumveränderungen. Sie können sich aber, wie sich von selbst versteht, mit den obenerwähnten Factoren, der Vermehrung oder Verminderung des Inhalts, combiniren und also auch in jenen Fällen mitwirken, wo eine Ab- oder Zunahme des Volumens nachweisbar ist.

378 Aus alledem ergibt sich, dass weder die Thatsache einer Volumenveränderung, noch die beobachtete Abgabe oder Aufnahme von Flüssigkeit über die Spannungsveränderungen im Gewebe Aufschluss geben, selbst dann nicht, wenn die beiden Vorgänge einer genauen quantitativen Bestimmung fähig wären. Auch die Schwankungen des Widerstandes, welchen das Gewebe in verschiedenen Spannungszuständen einer Krümmung durch seitlichen Druck oder Zug entgegensetzt, können unmöglich einen genauen Maassstab fur die Einzelspannungen der Zellen liefern, weil die Formveränderungen, welche das Gewebe erfährt, schon an und für sich eine Ab- oder Zunahme jenes Widerstandes bedingen müssen. Doch ist zuzugeben, dass bei der Schwierigkeit, genaue Messungen über die Spannungsverhältnisse anzustellen, die Biegungsfestigkeit oder die sogenannte Gesammtspannung immerhin noch die besten Anhaltspunkte liefert.

379 Wir stellen uns jetzt weiter die Aufgabe, die Bedingungen zu ermitteln, unter welchen entgegengesetzt gespannte Gewebe, z. B. Parenchym und Cuticula, die zu einem Ganzen verbunden sind, sich im Zustande des Gleichgewichts befinden. Wir beschränken uns hiebei auf den möglichst einfachen Fall, dass ein saftiges Gewebe von parallelepipedischer Form mit zwei opponirten Flächen an Gewebelamellen grenzt, welche die freie Ausdehnung des erstern hemmen, wie diess bei einem viereckigen Stück, das aus einer Blattspreite herausgeschnitten wird, der Fall ist. Das saftige Gewebe ist alsdann um einen gewissen Bruchtheil kürzer, als im isolirt gedachten Zu-

stande, und in Folge dessen positiv gespannt; die beiden Lamellen erfahren dagegen eine entsprechende Streckung, so zwar, dass die dadurch hervorgerufene negative Spannung der positiven das Gleichgewicht hält. Diese entgegengesetzten Spannungen geben sich bekanntlich dadurch kund, dass eine Theilung des ganzen Complexes in zwei symmetrische Hälften eine Krümmung dieser Hälften zur Folge hat.

Es wäre nun von praktischem Interesse, diese Krümmung für verschiedene Voraussetzungen in Betreff der Dimensionsverhältnisse, der Elasticität und Dehnbarkeit mathematisch zu bestimmen, um dann umgekehrt aus bekannten Krümmungen und Dimensionsverhältnissen Schlüsse auf die Elasticität und Dehnbarkeit ziehen zu können. Die streng mathematische Lösung dieses Problems war jedoch für uns nur unter Voraussetzungen möglich, deren Zulässigkeit uns nicht ganz zweifellos erschien *), und aus diesem Grunde erach-

*) Wir gingen hiebei von der gekrümmten Gleichgewichtslage aus und suchten die Summe der Spannkräfte zu bestimmen, welche in den concentrischen Schichten von A und B (Fig. 197) nach Maassgabe ihrer Verlängerung oder Verkürzung wirksam sein können. Diess geschah in folgender Weise.

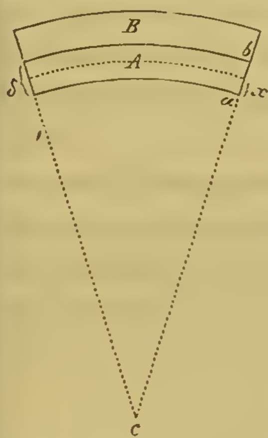


Fig. 197.

Sei die ursprüngliche Länge von A gleich l, die Längenzunahme der innersten Schicht in Folge der Spannung gleich $\frac{l}{n}$, der Krümmungsradius $ca = r$ und die Dicke $ab = \delta$; dann ist die Länge einer beliebigen Schicht, deren Krümmungsradius $r + x$ beträgt, gegeben durch

$$\frac{r+x}{r}\, l \left(1 + \frac{1}{n}\right) = l + \frac{r + (n+1)\, x}{nr}\, l.$$

Die Verlängerung beträgt also $\frac{r + (n+1)\, x}{nr}$. Da nun die resultirende Spannung innerhalb der Elasticitätsgrenzen dieser Grösse proportional ist, so ergiebt sich als algebraischer Ausdruck derselben, wenn man die Dicke der Schicht mit dx bezeichnet,

$$\frac{k}{nr}\left[r + (n+1)\, x\right] dx.$$

Der Coefficient k, welcher zu den bekannten Grössen hier noch hinzugekommen ist, hat einen constanten, nur von der Dehnbarkeit des Materials abhängigen Werth.

Lässt man nun die Variable x von $x = o$ bis $x = \delta$ zunehmen und substituirt die successiven Werthe in obiger Formel, so erhält man die sämmtlichen Spannungen, welche in den auf einander folgenden Schichten wirksam sind. Die Summe dieser Spannungen ist aber offenbar gegeben durch das Integral

$$\frac{k}{nr} \cdot \int_o^{\delta} \left[r + (n+1)\, x\right] dx = \frac{k}{nr}\left\{r\,\delta + \frac{n+1}{2}\,\delta^2\right\}$$

ten wir es für rathsam, uns vorläufig mit einigen allgemeinen, durch Raisonnement gewonnenen Resultaten zu begnügen.

380 Seien A und B (Fig. 198) zwei elastische Parallelepipede von nicht ganz gleicher Länge. Man denke sich nun B durch irgend eine Kraft, welche auf die obere Endfläche drückt, bis auf die Länge von A verkürzt und dann in allen Punkten der nach links gekehrten Fläche aufs Innigste mit A verbunden. Unter dieser Voraussetzung muss in dem Augenblicke, wo die beiden Parallelepipede sich selbst überlassen werden, eine Formveränderung eintreten, durch welche die positive Spannung in B insoweit gehoben wird, bis die dadurch hervorgerufene negative Spannung in A ihr das Gleichgewicht hält. Ist die Verschiebung der Molecüle nur in der Längsrichtung möglich, so beschränkt sich die Formveränderung auf eine grössere oder kleinere Streckung in der nämlichen Richtung, wobei jedoch die resultirende Länge immer kleiner ist, als die ursprüngliche von B. Haben dagegen die Spannkräfte einen durchaus freien Spielraum nach allen Seiten, so tritt eine nach rechts convexe Krümmung ein, weil der rechte Rand in dem Bestreben sich auszudehnen geringeren Widerständen begegnet, als der linke. Wir wollen die im einen und

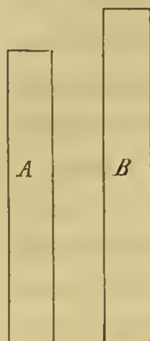


Fig. 198.

Ganz ebenso erhält man als Summe der positiven Spannungen in B, wenn die Verkürzung der äussersten Schicht $\frac{1}{n'}$ der ursprünglichen Länge beträgt und der Krümmungsradius derselben mit R bezeichnet wird — während die übrigen Grössen bloss durch Accente von den vorhergehenden unterschieden werden — das Integral

$$\frac{k'}{n'R}\int_0^{\delta'}\left[R + (n' = 1)y\right]dy = \frac{k'}{n'R}\left\{R\delta' + \frac{n'-1}{2}\delta'^2\right\}$$

Die Gleichsetzung der zweiten Glieder ergiebt

$$\frac{k}{nr}\left[r\delta + \frac{n+1}{2}\delta^2\right] = \frac{k'}{n'R}\left[R\delta' + \frac{n'-1}{2}\delta'^2\right]$$

in welche Gleichung man bloss die nöthigen Data zu substituiren braucht, um die übrigen zu bestimmen. Sind z. B. r, δ, δ' bekannt und $k = k'$, so lässt sich bei gegebenen ursprünglichen Längen der Parallelepipede sowohl das Verhältniss von n zu n' als auch die Lage der neutralen Axe berechnen.

Wir halten es für überflüssig, die nach obiger Formel bezeichneten Beispiele mitzutheilen und bemerken nur, dass die Resultate der Rechnung mit unsern durch Raisonnement erhaltenen Regeln übereinstimmen.

anderen Falle resultirende Form als gerade und als gekrümmte Gleichgewichtslage von einander unterscheiden.

Die näheren Bedingungen dieser Gleichgewichtslagen lassen sich natürlich nur unter bestimmten Voraussetzungen über Querschnitt und Dehnbarkeit feststellen. Wir heben folgende Fälle hervor.

1) Haben A und B congruente Querschnitte und überdiess gleiche Dehnbarkeit und Elasticität, so muss die gerade Gleichgewichtslage offenbar dann eintreten, wenn die gemeinsame Länge der beiden Parallelepipede zwischen den beiden ursprünglichen Längen das Mittel bildet*). Bezeichnet man diese ursprünglichen Längen mit L und l und die gemeinsame resultirende mit L', so ist $L' = \frac{L + l}{2}$. — Lassen wir jetzt die gerade Gleichgewichtslage in die gekrümmte übergehen, so wird der linke Rand in unserer Figur sich hiebei etwas verkürzen und der rechte sich eben so stark verlängern, wogegen die in der Mitte befindliche Berührungsfläche ihre ursprüngliche Länge beibehält. Da nun diese Berührungsfläche auf einem Durchschnitt parallel der Papierebene als Linie erscheint, so wollen wir in der Folge jede solche Linie, die beim Uebergang aus der geraden in die gekrümmte Gleichgewichtslage sich weder verlängert noch verkürzt, ganz allgemein als neutrale Axe unterscheiden. In unserem Falle liegt also die neutrale Axe in der Mitte zwischen den beiden Rändern.

2) Haben A und B ungleiche Querschnitte, aber gleiche Dehnbarkeit, so ist die gemeinsame Länge in der geraden Gleichgewichtslage, wie man leicht einsieht, grösser oder kleiner als im vorhergehenden Fall, je nachdem B oder A im Querschnitt überwiegt. Der genaue Werth derselben ist gegeben durch die Formel

$$(L - L') = \frac{1}{n} (L' - l) ,$$

worin L, L' und l die unter 1) erwähnten Längen bezeichnen, während $n:1$ das Verhältniss des grössern Querschnittes zum kleineren ausdrückt. Denkt man sich nun die Berührungslinie einstweilen nicht dehnbar und lässt alsdann die gerade Gleichgewichtslage in die gekrümmte übergehen, so wird der rechte Rand sich nahezu bis zur Länge L ausdehnen und der linke sich um eine $n$mal kleinere

*) Eine Kraft, welche einen elastischen Körper um $\frac{1}{n}$ verlängert, verursacht, wenn sie in entgegengesetzter Richtung wirkt, auch eine Verkürzung von $\frac{1}{n}$.

Grösse verkürzen, d. h. es wird eine kleine Drehung der Kante *a b* (Fig. 199) um den unbeweglich gedachten Endpunkt der Berührungslinie stattfinden. Das Ausdehnungsbestreben von *B* wird dadurch ungefähr zur Hälfte befriedigt; denn um den rechten Rand wieder auf die Länge *L'* zu verkürzen, wäre nahezu dieselbe Kraft erforderlich, die in der Berührungsfläche noch wirksam ist. Dagegen sind die Spannungen im Parallelepiped *A*, auch wenn die Verkürzung des linken Randes etwas stärker ist als wir angenommen, nur um einen kleinen Bruchtheil vermindert; der übrig gebliebene Rest ist also jedenfalls überwiegend gegenüber demjenigen von *B*.

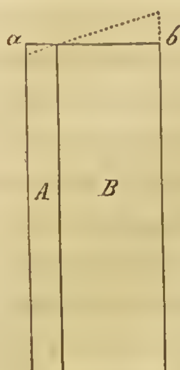


Fig. 199.

Geben wir jetzt der Berührungslinie ihre Dehnbarkeit wieder zurück, so wird sie der überwiegenden negativen Spannung von *A* sogleich nachgeben und sich etwas verkürzen. Die neutrale Axe kommt also jedenfalls mehr nach rechts, innerhalb *B*, zu liegen.

3) Haben *A* und *B* gleiche Querschnitte aber ungleiche Dehnbarkeit, so nähert sich die resultirende Länge offenbar mehr der ursprünglichen des weniger dehnbaren Parallelepipeds. Gehen wir von einem extremen Fall aus, indem wir uns *A* aus Elfenbein und *B* aus Kautschuk bestehend denken, so müsste die Streckung von *A* im Vergleich mit der Verkürzung von *B* verschwindend klein ausfallen und könnte daher ohne merklichen Fehler = 0 gesetzt werden. Eine Krümmung müsste aber nichtsdestoweniger auch unter dieser Voraussetzung eintreten, wofern nur die beiden isolirt gedachten Lamellen lang genug sind. War aber die gemeinsame Länge in der geraden Gleichgewichtslage der ursprünglichen von *A* nahezu gleich, so wird die Lamelle *A* bei der Krümmung sich auf der linken Seite etwas verkürzen und auf der rechten verlängern, ganz so, als ob sie durch seitlich wirkende Kräfte gekrümmt würde. Die neutrale Axe würde also unter dieser Voraussetzung beinahe in die Mitte von *A* herüberrücken, und wir dürfen hieraus den Schluss ziehen, dass dieselbe auch in den Fällen, wo die Streckung von *A* nicht Null, sondern nur geringer ist als die Verkürzung von *B*, stets etwas links von der Berührungslinie zu liegen kommt, und zwar um so mehr, je grösser die Differenz in der Dehnbarkeit.

Zu demselben Resultat gelangen wir auch durch die für den vorhergehenden zweiten Fall gewählte Betrachtungsweise. Denkt man sich nämlich die Berührungslinie zwischen *A* und *B* nicht dehnbar

und lässt nun die gerade Gleichgewichtslage in die gekrümmte übergehen, so wird sich der linke Rand von *A*, wenn dieses nur wenig verlängert war, hiebei auf seine ursprüngliche Länge zusammenziehen und dadurch das Maass der negativen Spannung auf die Hälfte reduciren. Dagegen kann sich *B*, welches stark verkürzt war, relativ nur wenig verlängern; der Rest der positiven Spannung wird daher, sobald wir uns die Berührungslinie wieder dehnbar denken, die negative von *A* überwiegen und folglich eine Streckung der Berührungslinie veranlassen. Die neutrale Axe kommt also jedenfalls innerhalb *A* zu liegen.

Ebenso müsste im entgegengesetzten Falle, wenn *A* dehnbarer als *B*, ein Hinüberrücken der neutralen Axe auf die rechte Seite der Berührungslinie sich als nothwendige Folge herausstellen.

4) Haben *A* und *B* ungleichen Querschnitt und ungleiche Dehnbarkeit, so behalten die unter 2 und 3 abgeleiteten Schlüsse im Allgemeinen ihre Geltung, d. h. die neutrale Axe fällt in der Regel nicht in die Berührungslinie. Das Verhältniss der Querschnitte lässt sich übrigens in verschiedener Weise mit dem der Dehnbarkeit combinirt denken, sodass die Wirkungen der Ungleichheit sich bald gegenseitig unterstützen, bald theilweise aufheben, und im letzteren Falle bald das Verhältniss der Querschnitte, bald das der Dehnbarkeiten den Ausschlag gibt.

3. Innerer Bau der festen Körper.

Die festen Körper zerfallen nach der Anordnung ihrer kleinsten Theile und nach den damit zusammenhängenden Eigenschaften in zwei grosse Kategorien: in organisirte und unorganisirte Körper. Erstere sind quellungsfähig, d. h. sie besitzen das Vermögen, Wasser und wässerige Lösungen bis zu einem bestimmten Grenzverhältniss, das nicht überschritten wird, zwischen ihre kleinsten Theile einzulagern und beim Trocknen wieder abzugeben, ohne dabei ihre Molecularconstitution zu ändern. Letztere dagegen sind nicht quellungsfähig; eine Einlagerung von Wasser findet entweder nur in gröbliche Räume statt, oder sie bedingt, wenn das Wasser in hinreichender Menge geboten wird, die Lösung der Körper. 381

Uebergänge zwischen diesen beiden Kategorien gibt es, genau genommen, nicht. Sie können nur insofern vorkommen, als einzelne nicht organisirte Verbindungen, wie z. B. das Gummi, durch einen allmählichen Umbildungsprocess aus organisirten entstehen und wohl

auch stellenweise, wo nämlich die Umbildung nicht durchgreift, organisirt bleiben. Dagegen besteht zwischen den organisirten Verbindungen und den nicht organisirten Colloidsubstanzen (Thonerdehydrat, Gerbstoff, coagulirtes Albumin etc.) keine eigentliche Verwandtschaft. Man kann nicht sagen, dass diese Colloidsubstanzen im bezeichneten Sinne quellungsfähig seien, da die Volumenzunahme, welche das eindringende Wasser bedingt, entweder auf der Einlagerung desselben in gröbliche Räume beruht oder aber unbegrenzt fortdauert und dann als eine Lösungserscheinung zu betrachten ist, und da andererseits die vollständige Entziehung des Wassergehaltes bei Hydraten eine Veränderung der Molecularconstitution im Gefolge hat. *)

Sowohl bei organisirten als bei nicht organisirten Körpern muss unterschieden werden zwischen den mikroskopisch nicht wahrnehmbaren Molecularinterstitien und allfälligen gröblichen Zwischenräumen, die in der Substanz auftreten. **) Wir wollen die Körper, in welchen solche Zwischenräume vorkommen, als grobporöse von den übrigen nicht grobporösen unterscheiden. Zu jenen gehören beispielsweise unter den organisirten das Holz und die Knochen, unter den nicht organisirten der Hydrophan und die Sphaerokrystalle der Acetabularien ***); zu diesen einerseits die

*) Wie Hofmeister (Flora 1862) dazu kommt, die Zellmembranen den Colloidsubstanzen beizuzählen, vermögen wir nicht einzusehen. Wie aus seiner Darstellung hervorgeht, stützt er sich hiebei auf die »Fähigkeit der lebenden Zellhaut, auf geringfügige äussere Einflüsse einen Theil des an ihrer Zusammensetzung betheiligten Wassers auszustossen«, natürlich unter entsprechender Abnahme des Volumens, und auf die vermeintliche Uebereinstimmung dieses Vorganges mit dem Gerinnen der Colloidsubstanzen. Das Eine wie das Andere erscheint uns zweifelhaft. Einmal lässt sich die gedachte Fähigkeit aus den uns bekannt gewordenen Thatsachen nicht folgern; sie kann also höchstens als eine mögliche Eigenschaft der Membranen bezeichnet werden. Zweitens bezweifeln wir, dass diese Fähigkeit es ist, »die in dem leichten Uebergange von Colloidsubstanzen in den von Graham betonten pectösen Zustand, in dem leichten Gerinnen dieser Substanzen hervortritt«. Sowohl der Gerinnungsprocess des Eiweisses beim Erwärmen, als derjenige von Leimlösungen beim Erkalten ist eine Erscheinung ganz anderer Art, die weder mit Wasseraufnahme noch mit Wasserabgabe verbunden ist, und was den pectösen Zustand betrifft, so kann derselbe von vorne herein nicht als Vergleichungspunkt dienen, da die Membranen irritabler Gewebe, die doch Hofmeister speciell im Auge hat, jedenfalls nicht pectös sind.

**) Die physikalischen Lehrbücher unterscheiden gewöhnlich nicht zwischen Porosität und Imbibitionsfähigkeit. Sie betrachten das Eindringen von Wasser und wässerigen Lösungen in vegetabilische Membranen, ganz wie das Eindringen in ein Stück Kreide, als eine einfache Porositätserscheinung (vgl. z. B. Müller-Pouillet, Lehrb. der Phys. p. 20).

***) Siehe das Nähere hierüber bei Nägeli: Sitzungsber. d. k. bayer. Akad.

Stärkekörner, Membranen etc., andererseits die gewöhnlichen Krystalle. Ob das Collodium organisirt oder nicht organisirt sei, scheint uns zweifelhaft; jedenfalls ist es grobporös.

Die gröblichen Zwischenräume lassen sich nicht immer ohne Weiteres erkennen, namentlich dann nicht, wenn sie (wie bei den oben erwähnten Sphaerokrystallen) sehr klein und zahlreich und mit einem flüssigen Medium erfüllt sind. Ihr Vorhandensein verräth sich aber sogleich, wenn man die Substanz etwas erwärmt, bis die Flüssigkeit durch Verdunstung verschwunden und durch Luft ersetzt ist. Der Körper erscheint alsdann wegen der vielen luftführenden Räume schwarz.

Das Verhalten der festen Körper gegen chemische und physi- 382
kalische Reagentien berechtigt zu der Annahme, dass ihre kleinsten Theile im Allgemeinen polyedrisch sind und eine bestimmte regelmässige oder unregelmässige Anordnung zeigen. Nennen wir diese kleinsten Theile mit ihren Aethersphären Atome*), so müssen nach der atomistischen Theorie folgende Verschiedenheiten der Lagerung angenommen werden, um den bekannten Erscheinungen Rechnung zu tragen.

1) Die Atome liegen auf den drei senkrecht sich kreuzenden Richtungen des Raumes (man mag sich dieselben beliebig orientirt denken) in durchweg gleichen Abständen von einander entfernt und werden auch nach allen drei Richtungen von gleichen Kräften sollicitirt; eine beliebige Drehung einzelner Atome um 90° verursacht keine Störung des Gleichgewichts. Der Körper wird alsdann isotrop genannt, weil er im Verhalten gegen die Imponderabilien (Licht, Wärme etc.) keinerlei Verschiedenheiten der Richtung bemerken lässt. — So verhalten sich indess nur die Krystalle des regulären Systems. Die hier möglichen Krystallflächen entsprechen, wie überhaupt bei allen Krystallen, den Ebenen, die man sich durch je 3 Atome gelegt denken kann; sie kommen um so leichter zur Ausbildung, je geringer der Abstand der Atome in der Ebene.

2) Die Atome sind nach verschiedenen Richtungen ungleich weit von einander entfernt und von ungleichen inneren Kräften solli-

d. Wiss. zu München, Vortrag vom 8. März 1862. Vgl. ferner die Mittheilungen von Sachs über die Sphaerokrystalle des Inulins, Bot. Zeit. 1864, p. 80.

*) Manche Autoren bezeichnen die kleinsten Theile mit ihren Aethersphären als Molecüle und reserviren den Ausdruck Atom für die Massentheile ohne die Aethersphären.

citirt; die Orientirung ist aber durchgehends die nämliche, gleichwerthige Richtungen sind also parallel. Die räumliche Anordnung der Atome lässt alsdann noch mancherlei Verschiedenheiten zu, wie sie bei den 5 hieher gehörigen Krystallsystemen vorkommen; sie ist aber stets der Art, dass die Intensität dadurch bedingter Eigenschaften mit der Richtung sich in gleichem Verhältniss ändert, wie der jedesmal parallel gedachte Durchmesser eines entsprechend orientirten Ellipsoids oder Rotationsellipsoids. Das Nähere hierüber wurde bereits bei Erörterung der Polarisationserscheinungen mitgetheilt.

3) Die Atome sind ungleich orientirt oder unregelmässig angeordnet, jedoch so, dass, wenn auch nicht die einzelnen Abstände, doch die mittlere Grösse derselben auf jeder beliebigen geraden Linie immer dieselbe ist, eine Verschiedenheit der Richtungen also nicht besteht. Die Körper verhalten sich alsdann wie isotrope; sie bilden aber keine Krystallflächen aus, weil die in einer Ebene liegenden Atome nicht übereinstimmend gestellt oder aber ungleichmässig vertheilt sind. — Eine solche Constitution müssen wir im geschmolzenen Zustande selbstverständlich bei allen sonst festen Körpern voraussetzen; bleibt sie auch während des Erstarrens erhalten, so ist der Körper isotrop, aber amorph. So das Glas, trockenes Gummi etc.

4) Die Atome gruppiren sich zu kleinen, jedoch mikroskopisch nicht wahrnehmbaren Krystallen, die wir Molecüle nennen wollen. Diese treten selbst wieder nach ähnlichen Gesetzen zu grösseren Massen zusammen, nur dass hiebei eine etwas grössere Freiheit zur Geltung kommt, indem die Molecüle sich bald in ebene, bald in krumme Flächen ordnen. Ueberdiess können die Molecüle, ohne ihre Anordnung zu verändern, sich soweit von einander entfernen, dass Atome anderer Substanzen, zu denen sie Affinität haben, sich zwischen dieselben einschieben und eine förmliche Hülle um sie bilden.

383 Auf der letzterwähnten Gruppirung der Atome beruht das Wesen der organisirten Substanz. Das Wasser, womit sich dieselbe imbibirt, dringt nur zwischen die Molecüle, nicht in diese letzteren ein, und wird beim Verdunsten wieder abgegeben. Findet vollständiges Austrocknen statt, so nähern sich die Molecüle bis zur unmittelbaren Berührung, und da nicht anzunehmen ist, dass sie luftführende Räume zwischen sich lassen, weil dadurch die Durchsichtigkeit der Masse gestört würde, so müssen die benachbarten Molecularschichten ziemlich genau auf einander passen oder in einander greifen, wie die Oberflächen eines beliebigen Objectes und seines galvanoplastischen

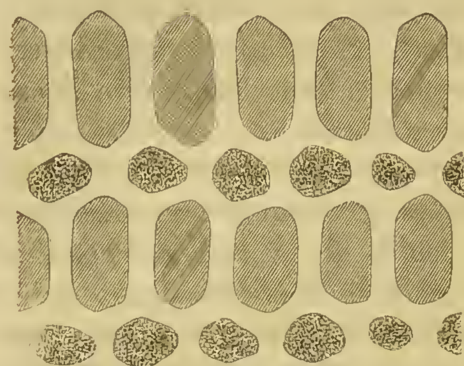
Abgusses. Die Gestalt der Molecüle muss daher im Allgemeinen eine polyedrische sein, wie die der Krystalle, und zwar eine regelmässige, wenn sie sich in parallele Ebenen gruppiren, wie bei den Proteinkrystalloiden, eine unregelmässige und mehr oder weniger keilförmige, wenn die Anordnung eine concentrisch-krummflächige ist, wie bei den Stärkekörnern. Die Ausbildung von Krystallflächen lässt sich natürlich nur im ersten Falle, hier aber nach den verschiedensten Krystallsystemen erwarten, wie denn auch bereits rhombische und klinorhombische (rhomboedrische?) Formen von organisirten Substanzen bekannt sind. Jede durch drei Molecüle gelegte Ebene bezeichnet alsdann eine mögliche Krystallfläche.

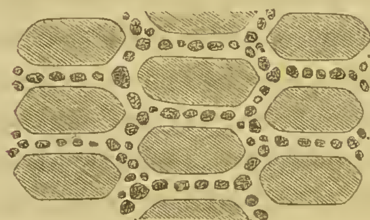
Ob die Krystallform der Molecüle mit derjenigen ihres Aggregates in einem bestimmten Zusammenhang stehe oder vielleicht gar mit der letztern identisch sei, lässt sich nicht mit Sicherheit bestimmen. Doch ist kaum anzunehmen, dass ein Krystalloid mit rechtwinkligen Axen sich aus Molecülen mit schiefwinkligen aufbaue oder umgekehrt; es ist vielmehr am wahrscheinlichsten, dass wirklich Uebereinstimmung zwischen den beiden Krystallformen bestehe. Soviel ist jedenfalls sicher, dass die optischen Eigenschaften der Krystalloide, wie überhaupt eines beliebigen Aggregates von Molecülen, nur von der Beschaffenheit dieser letzteren, nicht aber von ihrer Anordnung abhängen, so dass also optisch negative Molecüle auch ein optisch negatives Verhalten des Aggregates und ebenso isotrope Molecüle den Isotropismus des Aggregates bedingen. Diese Schlüsse ergeben sich, wie oben (p. 355) gezeigt wurde, aus den bekannten Farbenerscheinungen, welche das polarisirte Licht in Membranen und Stärkekörnern in den verschiedenen Stadien der Quellung hervorruft.

Die Grenzen, bis zu welchen die Molecüle sich in Folge der Quellung der Substanz von einander entfernen und beim Austrocknen wieder näher rücken, sind durch die hierdurch bedingten Volumenveränderungen bestimmt. Bei gallertartigen Membranen, welche beim Austrocknen sich auf $1/8$ ihres Volumens zusammenziehen, müssen sich z. B. die Centren der Molecüle durchschnittlich auf $\sqrt[3]{1/8} = 1/2$ ihrer ursprünglichen Entfernung nähern. Hätten die Molecüle selbst Würfelform, so müssten im aufgequollenen Zustande die Interstitien den Durchmesser eines Würfels erreichen.

Eine weitere Eigenthümlichkeit der organisirten Substanz be- 384
steht — soweit wenigstens die genauer bekannten Beispiele ein Ur-

theil erlauben — darin, dass sie sich stets als ein Gemenge zweier chemisch verschiedener Substanzen erweist, welche durch Lösungsmittel von einander getrennt werden können. So bestehen z. B. die Stärkekörner aus Granulose und Cellulose, desgleichen die Zellmembranen durchgehends aus zwei Substanzen von ungleicher Löslichkeit, und auch die Proteinkrystalloide lassen einen Theil ihrer Masse durch verdünnte Säuren ausziehen, während ein anderer Theil unter Beibehaltung der Krystallform zurückbleibt. Man kann sich nun die Molecularconstitution eines solchen Gemenges in verschiedener Weise denken. Entweder bilden die beiden Substanzen Molecüle von nicht sehr verschiedener Grösse und Anordnung (Fig. 200); dann ist selbstverständlich jedes beliebige Verhältniss zwischen den beiden Substanzen denkbar. Oder die regelmässige Form und Anordnung beschränkt sich auf die Molecüle der einen Substanz, indem die der andern unregelmässig in die Interstitien eingelagert sind, etwa wie der Mörtel zwischen die Steine eines Mauerwerkes (Fig. 201). Eine dritte Annahme, dass nämlich die Molecüle selbst aus Atomen beider Substanzen zusammengesetzt seien, ist mit der Krystallnatur der Molecüle nicht wohl vereinbar, da eine theilweise Lösung der integrirenden Bestandtheile bei Krystallen nicht möglich ist. Die Krystallnatur der Molecüle spricht auch gegen die Voraussetzung, dass die Atome verschiedener Substanzen Molecüle mit gleichen Winkeln bilden. Unter den möglichen Combinationen hat somit die Einlagerung der einen Substanz in die Molecularinterstitien der andern die grösste Wahrscheinlichkeit.


Fig. 200.


Fig. 201.

4. Cohäsion und Adhäsion.

385 Die Ausdrücke Cohäsion und Adhäsion bezeichnen in manchen Fällen sehr nah verwandte Begriffe, ja sie sind oft geradezu als synonym zu betrachten. Die Schichten einer organisirten Substanz cohäriren oder adhäriren, je nachdem man von dieser oder jener Vor-

stellung über die Molecularconstitution derselben ausgeht. Nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche würden die ursprünglich getrennten Zellen des Endosperms, welche sich in der Folge zu einem geschlossenen parenchymatischen Gewebe verbinden, durch Adhäsion, die durch Theilung entstandenen Zellen dagegen durch Cohäsion zusammengehalten; beide Gewebe sehen aber vollkommen gleich aus. Wollte man den Ausdruck Cohäsion für den Zusammenhang chemisch gleicher Molecularschichten reserviren, ohne Rücksicht darauf, ob sie ursprünglich getrennt waren oder nicht, so würde in allen Fällen, wo gewisse Schichten der Membran sich chemisch verändern, wie z. B. bei der Umwandlung in Korksubstanz (Cuticula), die Cohäsion in Adhäsion übergehen. Diese Beispiele mögen genügen, um zu zeigen, dass ein strenges Auseinanderhalten der gedachten Ausdrücke nicht möglich ist.

Ob die adhärirenden Flächen zweier Körper bis auf den gewöhnlichen Abstand der Molecüle genähert oder durch einen beträchtlich grösseren Zwischenraum von einander getrennt sind, ob also die Adhäsion vollkommen oder unvollkommen sei, lässt sich mikroskopisch nicht unterscheiden. Der Primordialschlauch legt sich z. B. so innig an die Zellmembran an, dass eine Scheidelinie zwischen ihm und der inneren Membrangrenze nirgends bemerkbar ist. Dessenungeachtet löst er sich an den meisten Stellen leicht von der Membran ab, während er an andern haften bleibt und sich hier unter Umständen in lange Fäden auszieht. Die Adhäsion kann also nur an diesen letzteren Stellen vollkommen oder wenigstens möglichst vollkommen sein; an ersteren muss zwischen den Molecülen der Membran und des Schlauchs ausser dem umhüllenden Imbibitionswasser eine trennende Wasserschicht angenommen werden, welche den gegenseitigen Abstand vergrössert und dadurch die Adhäsion schwächt. Ob diese Wasserschicht selbst wieder an verschiedenen Stellen ungleiche Mächtigkeit erreicht, wie man aus dem ungleichzeitigen Ablösen des Primordialschlauches folgern möchte, lässt sich durch directe Beobachtung ebensowenig entscheiden, weil ja selbst die dicksten Stellen jenseits der Grenze mikroskopischer Wahrnehmbarkeit liegen. Wir ziehen hieraus den allgemeinen Schluss, dass sich die Vollkommenheit oder Unvollkommenheit der Adhäsion mikroskopisch nicht erkennen lässt.

Da die Einlagerung von Wasser zwischen die Molecüle einer Substanz den gegenseitigen Abstand derselben vergrössert und die Wassertheilchen unter sich nur mit einer Kraft cohäriren, welche jedenfalls viel geringer ist als bei festen Körpern, so ist einleuchtend,

dass die Cohäsion mit der Zunahme des Wassergehaltes abnimmt. Gallertartige Membranen zeigen in Folge dessen nur eine geringe Cohäsion, während z. B. die wasserarmen des Eichenholzes beinahe diejenige des geschmiedeten Kupfers erreichen.

5. Quellung und Diosmose.

a) Arten der Quellung.

386 Die durch Einlagerung von Flüssigkeiten bedingte Volumenzunahme einer organisirten Substanz wird bekanntlich als Quellung bezeichnet. Dieselbe kann mit oder ohne Veränderung der Molecularconstitution erfolgen. Im letzteren Falle zieht sich der Körper, wenn ihm das Wasser auf irgend eine Weise (durch Erwärmen, concentrirtes Glycerin etc.) entzogen wird, wieder auf sein früheres Volumen im trockenen Zustande zusammen, wie man diess an Membranen und Stärkekörnern, welche von Wasser, sehr schwachen Alkalien oder Säuren durchdrungen sind, beim Auswaschen und Trocknen beobachtet. — Da es eine allgemeine Regel ist, dass angesäuertes oder schwach alkalisches Wasser in etwas grösserer Menge eingelagert wird, als reines, so verhalten sich in Wasser liegende Substanzen gegen verdünnte Lösungen, wie trockene gegen Wasser; sie quellen auf Zusatz von schwachen Säuren oder Alkalien stärker auf und ziehen sich beim Auswaschen mit reinem Wasser wieder zusammen. Bei günstigen Objecten (wie z. B. den Stärkekörnern tropischer Euphorbien) ist diese Erscheinung sogar sehr augenfällig.

Im Gegensatz zu solchen Quellungen stehen diejenigen, welche gewöhnlich stärkere Säuren und Alkalien, sowie Kupferoxydammoniak hervorrufen. Die aufgequollene Substanz verliert nämlich die Fähigkeit, sich nach der Entfernung des Quellungsmittels durch Auswaschen wieder auf ihr früheres Volumen zusammenzuziehen; sie erfährt demnach Veränderungen in der Molecularconstitution, die wahrscheinlich darauf beruhen, dass die Molecüle sich in kleinere theilen.

Die Quellungserscheinungen sind bei den Stärkekörnern und Proteinkrystalloiden genauer bekannt.*) Von den Membranen weiss man wenigstens so viel, dass sie eine Reihe von Abstufungen bilden, die sich einerseits an die verschiedenen Stärkearten anschliessen und

---

*) Nägeli, die Stärkekörner p. 67 u. ff., 144 u. ff.; Sitzungsberichte der k. b. Akad. d. Wiss. in München 1862.

andererseits im cuticularisirten Zustande weit davon abstehen. Die Cuticula selbst scheint nur in sehr geringem Grade quellungsfähig zu sein.

Die Einlagerung von Lösungen zwischen die Massenbestandtheile organisirter Substanzen ist übrigens stets mit einer Concentrationsveränderung dieser Lösungen verbunden, d. h. die letzteren dringen in einem stärker verdünnten oder auch in concentrirterem Zustande in die Substanz ein. Thierische Membranen (Herzbeutel, Harnblase) nehmen z. B. von einer Kochsalzlösung eine Flüssigkeit auf, deren Procentgehalt nur 0,82 bis 0,84 der Lösung beträgt *). Umgekehrt nehmen Stärkekörner in verdünnter Kalilösung eine concentrirtere Flüssigkeit auf; denn setzt man nach und nach mehr Körner zu, so werden die Quellungserscheinungen schwächer und zuletzt unmerklich. Die umspülende Flüssigkeit muss also verdünnter, folglich die eingelagerte concentrirter geworden sein.

b) Absorption von Gasen in quellungsfähigen Körpern.

Die Verwandtschaft der festen Körper zu den Flüssigkeiten, 387
von denen sie durchdrungen werden, spricht sich auch in den hygroskopischen Eigenschaften derselben aus, d. h. in dem Vermögen, die Dämpfe jener Flüssigkeiten in sich niederzuschlagen. Die Bewegungen, welche durch die Zu- und Abnahme der aufgenommenen Wassermenge verursacht werden, sind bekanntlich bei manchen vegetabilischen und animalischen Gebilden (Schleudern der Equisetensporen, Fruchtstiele der Moose etc.) so auffallend, dass man dieselben als Hygroskope gebrauchen kann.

Eine ähnliche Verwandtschaft besteht auch zwischen den festen Körpern und Gasen, und es ist bekannt, dass sich dieselbe bei manchen unorganischen Substanzen, wie z. B. Kohle, Platinschwamm etc., in sehr augenfälligem Grade kundgibt. An organisirten Gebilden wurde eine Verdichtung von Gasen zwar nicht direct beobachtet; allein die Luftblasen, welche während der Einwirkung von conc. Schwefelsäure oder Aetzkalilösung in Stärkekörnern auftreten, machen die Annahme einer solchen sehr wahrscheinlich.

c) Menge und Vertheilung der Imbibitionsflüssigkeit.

Der Gehalt eines Körpers an Imbibitionsflüssigkeit ergibt sich 388
unmittelbar aus der Volumenzunahme desselben während der Quellung oder der Volumenabnahme während des Austrocknens. Wenn

*) Ludwig, Lehrb. d. Physiol. des Menschen p. 61.

z. B. eine ausgetrocknete Kugel in einer Lösung auf das Doppelte ihres ursprünglichen Durchmessers aufquillt und folglich einen 8mal grössern Raum einnimmt, so werden $^7/_8$ dieses Raumes von der eingelagerten Flüssigkeit ausgefüllt.

Die Vertheilung der Quellungsflüssigkeit im Innern der Substanz richtet sich nothwendig nach der Molecularconstitution. Das Verhältniss der Substanz zur Lösung und dem entsprechend auch die Ausdehnung der Körper während der Quellung, sowie die Contraction beim Austrocknen, ist daher im Allgemeinen in den verschiedenen Richtungen ungleich. Man würde jedoch sehr irren, wenn man aus den beobachteten Dimensionsveränderungen ohne Weiteres die Differenzen im Flüssigkeitsgehalt ableiten wollte, da eine solche Ableitung nur unter Voraussetzungen zulässig ist, welche in der Wirklichkeit selten zutreffen. Ein homogenes parallelepipedisches Membranstück wird allerdings beim Austrocknen an Länge, Breite und Dicke in demselben Verhältniss einbüssen, in welchem die Flüssigkeitstheilchen zwischen die Substanztheilchen eingelagert sind, weil hier der Annäherung der Molecüle in jeder beliebigen Richtung keinerlei Hindernisse im Wege stehen. Sobald aber ein solches Membranstück aus abwechselnd dichten und weichen Schichten besteht, wie es gewöhnlich der Fall ist, beschränkt sich die erwähnte Proportionalität auf die radiale Richtung, weil in tangentialer die freie Aeusserung der Molecularkräfte wasserreicher Schichten durch die Adhäsion an dichten gehemmt wird. Sind überdem die Schichten gestreift, d. h. aus alternirenden dichten und weichen Streifen zusammengesetzt, so giebt uns die Dimensionsverminderung in keiner Richtung einen genauen Maassstab für die Wassereinlagerung.

Sind die Molecularschichten concentrisch geordnet, so ruft der Gegensatz zwischen radialer und tangentialer Richtung Spannungen hervor, die sich allmählich bis zur Bildung von Rissen steigern, wie man diess an ausgetrockneten Stärkekörnern, die man wieder in Wasser gelegt hat, sowie auch bei der Quellung derselben in verdünnter Kalilösung wahrnimmt. Die Richtung der Risse, diese mögen nun durch Austrocknen oder durch Quellung entstanden sein, gibt alsdann nicht selten einigen Aufschluss über die Vertheilung der Imbibitionsflüssigkeit. Diese Richtung hängt übrigens selbstverständlich nicht bloss von den Spannungen, sondern auch von den Cohäsionsverhältnissen und unter Umständen wohl auch von den Punkten ab, wo die Risse zuerst auftreten. In den Stärkekörnern scheint z. B. der radiale Verlauf derselben zum Theil dadurch bedingt zu sein, dass die Bildung im

Kerne beginnt und nach aussen hin fortschreitet. Ohne diese Voraussetzung wäre es nämlich kaum erklärlich, warum nicht zuweilen zwei dichtere Schichten, die durch eine sehr weiche von einander getrennt sind, sich beim Austrocknen des Korns von einander ablösen und eine Spalte zwischen sich lassen.

Aus vorstehenden Andeutungen geht soviel hervor, dass die Er- 389
mittelung der Wasservertheilung aus den Erscheinungen des Austrocknens bei kugeligen und cylindrischen Gebilden keine so ganz leichte Aufgabe ist. Die an den Stärkekörnern beobachteten Thatsachen *) führten zu dem Schlusse, dass der Wassergehalt in tangentialer Richtung grösser sei als in radialer, vorausgesetzt, dass die Cohäsion der Substanztheilchen in den beiden Richtungen gleich sei. Rücksichtlich der näheren Begründung dieser Ansicht verweisen wir auf die am angeführten Orte mitgetheilten Erörterungen.

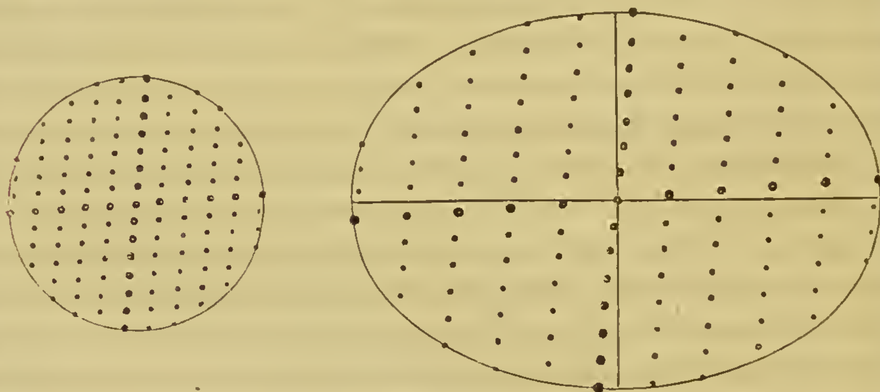
Aehnliche Schwierigkeiten bieten zuweilen auch die Erscheinungen des Aufquellens in Alkalien und Säuren, namentlich dann, wenn sich die verschiedenen Theile des Objects ungleich verhalten. Dass cylindrische Bastzellen (z. B. der Chinarinde), deren peripherische Schichten, im Querschnitt beobachtet, beim Aufquellen in Schwefelsäure bersten, in radialer Richtung mehr Säure einlagern, als in tangentialer, ist Jedermann einleuchtend. Wie sich dagegen ein Querschnitt durch einen Hohlcylinder verhält, dessen innere Schichten sich beim Aufquellen falten oder radial zerreissen, ist schon eine complicirtere Aufgabe. Eine Faltung wird beispielsweise eintreten, wenn die Ausdehnung der ganzen Wand in radialer Richtung stärker ist, als in tangentialer, so dass in Folge dessen das Lumen kleiner wird, und wenn überdiess eine innere dichte Lamelle der Membran nach aussen an weiche Substanz grenzt, welche der durch die Faltung bedingten Verschiebung ihrer Molecüle geringen Widerstand leistet. Diese letztere Bedingung ist wesentlich; denn wäre die Wandung homogen, so müsste bei übrigens gleichen Quellungsverhältnissen ein Zerreissen der peripherischen Schichten, also Bildung von radialen Rissen am Umfange erfolgen. Umgekehrt deuten radiale Risse, welche auf der Innenfläche eines Hohlcylinderquerschnittes auftreten, auf eine vorwiegend tangentiale Ausdehnung der Wandung. — Dasselbe Raisonnement gilt mutatis mutandis auch für Hohlkugeln und kann mit einigen Einschränkungen auch auf Kugeln ausgedehnt

*) Nägeli, die Stärkekörner S. 56 u. ff.

werden. Wenn daher in einer Kugel oder Hohlkugel radiale Risse im mittleren Theile auftreten (Fig. 202), welche sich nach aussen und innen verlieren, so folgt daraus, dass in den äusseren Schichten die tangentiale, in den inneren die radiale Ausdehnung vorwiegt.


Fig. 202.

Die Ausdehnung in tangentialer Richtung kann übrigens bei Körpern, welche eine Längsaxe besitzen, in sehr verschiedener Weise stattfinden, da das Quellungsvermögen im Allgemeinen den Leitstrahlen einer Ellipse entspricht, deren Axen bald mit der Quer- und Längsrichtung zusammenfallen, bald schief gegen dieselben gestellt sind. Das letztere ist der Fall, wenn die Molecularreihen der concentrischen Schichten rechts und links gewundene, beliebig geneigte Spiralen bilden, wie es z. B. bei Bast- und Holzzellen häufig vorkommt; das erstere, wenn diese Reihen längs und quer verlaufen und daher stets rechtwinklig gegen einander gestellt sind. Ein kreisförmiges Flächenelement nimmt also unter allen Umständen eine elliptische Form an, wenn das Quellungsvermögen in verschiedenen Richtungen ungleich ist; aber die Axen der Ellipse sind nur bei rechtwinkligen Molecularreihen diesen letzteren parallel, bei schiefwinkligen wird der spitze Winkel vom rechten der Axen eingeschlossen (Fig. 203).


Fig. 203.

390 Aus dem Angeführten ergiebt sich ferner, dass ein kugelförmiges Element einer quellungsfähigen Substanz durch ungleichmässige Einlagerung der Quellungsflüssigkeit zum Ellipsoid wird, dessen Axenlage von der Richtung und Ausdehnung der Molecularreihen abhängig ist. Diese Lage für gewisse Voraussetzungen zu bestimmen, ist Sache einer mathematischen Betrachtung, auf die wir hier nicht näher eingehen können. Wir beschränken uns auf die Hervor-

hebung zweier Fälle, welche speciell beim Aufquellen cylindrischer und hohlcylindrischer Zellen Anwendung finden. Der erste bezieht sich auf eine einzelne Membranschicht, der zweite auf Complexe von concentrischen Schichten.

1) Ein unendlich dünner Hohlcylinder, dessen Molecüle nach zwei Richtungen Reihen bilden, welche beliebig gegen die Längsaxe geneigt sind und folglich im Allgemeinen zugleich rechts- und linksläufige Spiralen bilden, ist in seinem Verhalten beim Aufquellen durch das in der Richtung der einen und andern Spirale bekannte Quellungsvermögen noch nicht bestimmt. Er kann sich verkürzen oder verlängern, an Umfang zu- oder abnehmen, je nach dem Einlagerungsverhältniss in einer dritten Richtung, welche die beiden genannten unter beliebigem Winkel schneidet. Man hat es überhaupt, wenn man die Formveränderungen, welche die Quellung bedingt, durch Construction bestimmen will, immer mit den drei Seiten eines Dreiecks zu thun, welche den gegenseitigen Abständen dreier Molecüle, z. B. der unmittelbar neben einander liegenden, entsprechen. Die Construction ist nur ausführbar, wenn das Verhältniss der Seitenlängen vor und nach der Quellung bekannt ist oder sich aus bekannten Daten ableiten lässt.

2) Denkt man sich mehrere solcher Hohlcylinder in einander geschachtelt, so ist an und für sich klar, dass mit dem Umfang auch die Abstände derselben in radialer Richtung sich proportional vergrössern müssen. Wenn daher bei einer cylindrischen Zelle das Quellungsvermögen der Membran in radialer Richtung grösser oder kleiner ist als in der Richtung des Umfanges, so treten Spannungen ein, welche das Verhalten der einzelnen concentrischen Schichten modificiren. Ein Vorherrschen der Dickenzunahme bewirkt z. B. bei Bastzellen eine sehr starke Verkürzung der peripherischen Schichten, wobei die durch die Streifung angedeutete steilere Spirale der Molecularreihen niedergedrückt wird.

In der Praxis lassen sich die unter 1) erwähnten Beziehungen 391
in folgender Weise ermitteln. Der Quellungscoefficient der spiralig verlaufenden Molecularreihen ergibt sich, insofern dieselben durch die Streifung der Membran deutlich bezeichnet sind, aus der Längenzunahme des Hohlcylinders und aus dem Neigungswinkel der Streifen vor und nach der Quellung. Ist die Länge des Cylinders im nicht gequollenen Zustande L, im gequollenen L', und sind die entsprechenden Neigungen eines bestimmten Streifensystems zur Längsaxe

α und α', so ist die Länge der damit parallelen Molecularreihen vor der Quellung durch $\frac{1}{\cos \alpha} L$ und nach der Quellung durch $\frac{1}{\cos \alpha} L'$ gegeben.

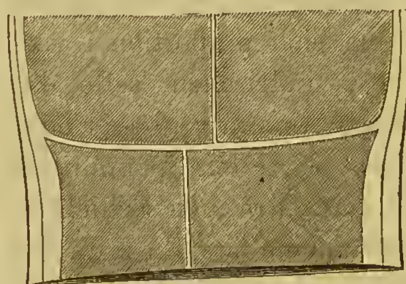
Ist die Neigung der Molecularreihen bloss im gequollenen Zustande für die beiden sich kreuzenden Spiralsysteme, im nicht gequollenen dagegen bloss für das eine derselben durch Streifung angedeutet, oder umgekehrt, so kann dessenungeachtet auch die Neigung der im einen oder andern Zustand unsichtbaren Streifungen und damit auch das Quellungsvermögen der entsprechenden Molecularreihen durch Rechnung bestimmt werden. Bezeichnet man nämlich mit C den Umfang des Hohlcylinders im nicht gequollenen Zustande, mit L dessen Länge und mit α und β die Neigungen der beiden Streifensysteme zur Längsaxe; ferner mit C' L' α' und β' die entsprechenden Grössen im aufgequollenen Zustande, so hat man die Relation

$$C : C' = L\,(\text{tang}\,\alpha + \text{tang}\,\beta) : L'\,(\text{tang}\,\alpha' + \text{tang}\,\beta'),$$

nach welcher sowohl α oder β, als überhaupt jede beliebige der 8 Grössen bestimmt werden kann, wenn die 7 andern bekannt sind.

d) Quellung absterbender Membranen.

392 Mit den Quellungserscheinungen lassen sich gewissermaassen auch die Verschiebungen der Molecüle vergleichen, welche das Absterben der Membranen, resp. der Zellen, verursacht. Durchschnittene Zellen von Schizomeris ziehen sich z. B. in Folge der Verletzung etwas zusammen und verdicken dabei in sehr augenfälligem Grade ihre Wandung (Fig. 204).*) Man könnte versucht sein, diese Erscheinung einer rein mechanischen Ursache, nämlich dem Aufhören des hydrostatischen Druckes der Zellflüssigkeit auf die Wandungen zuzuschreiben; zumal die Thatsache, dass auf Zusatz von Glycerin, Zuckerlösung etc., wodurch dieser Druck aufgehoben oder umgekehrt wird, die nämliche Verdickung der Membranen erfolgt, ganz entschieden darauf hinzudeuten scheint. Andere Gründe machen es aber wahrscheinlicher, dass die Molecularkräfte selbst beim Absterben eine Veränderung erfahren, in Folge welcher die Molecüle sich etwas verschieben und der Wassergehalt der Membranen in radialer Richtung beträchtlich zunimmt.


Fig. 204.

*) Vgl. Nägeli, Pflanzenphysiol. Unters. I. pag. 32.

e) Schichtung und Streifung.

Die Schichtung und Streifung der Membranen, sowie überhaupt der organisirten Substanz, kann natürlich nur eine Folge abwechselnd stärkeren und geringeren Wassergehaltes sein. Wir haben bereits oben darauf hingewiesen, dass die Molecüle in wasserreichen Partieen kleiner sein müssen, als in dichteren, weil bei gleicher Dicke der Wasserhülle nur dadurch der grössere Wassergehalt erklärlich wird. Hier wollen wir nur noch bemerken, dass die Streifung der Membran nach zwei verschiedenen Richtungen sich bei vielen Zellen direct nachweisen lässt und daher wahrscheinlich auch bei den übrigen vorhanden ist. Die Kreuzungsstellen der beiden dichten Streifensysteme bilden stets, wie man in günstigen Fällen deutlich sieht, die dichtesten Partieen der Membran. Letztere wird demnach durch die Grenzlinien der Streifen in Parallelogramme (räumlich gedacht in Parallelepipede) von vierfach verschiedener Dichtigkeit zerlegt, wie diess in nebenstehender Fig. 205 angedeutet ist. — Die Vermehrung der Streifen während des Wachsthums geschieht in gleicher Weise, wie die der Schichten, durch Spaltung der dichteren (nicht der weicheren) in zwei Lamellen, also durch Bildung wasserreicherer Substanz in den dichten Parallelepipeden. 393

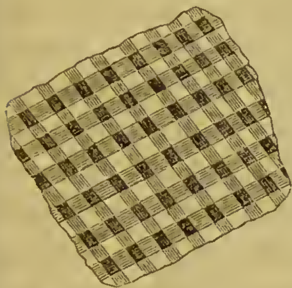


Fig. 205.

f) Diosmose.

Da die Flüssigkeit, welche den wässerigen Zellinhalt bildet, verschiedene Substanzen in Lösung enthält, so ruft das Eintauchen der Zellen in Wasser oder in andere Lösungen sogleich diosmotische Strömungen hervor, welche die Verschiedenheiten der Flüssigkeiten auszugleichen streben. Hiebei werden die entgegengesetzten Strömungen im Allgemeinen ungleich sein, so dass mit Rücksicht auf die Zelle bald die Endosmose, bald die Exosmose vorwiegt, die Menge der Zellflüssigkeit also bald vermehrt und bald vermindert wird. Eine Vermehrung findet beispielsweise statt wenn die Zelle in reines Wasser, eine Verminderung wenn sie in Zuckerlösung, Glycerin, Alkohol, Säuren, Alkalien, überhaupt in wasserentziehende Medien gebracht wird. 394

Die physikalische Ursache dieser Ungleichheit entgegengesetzter 395
diosmotischer Ströme liegt bekanntlich in der ungleichen Verwandt-

schaft der Membranen zu den im Austausch begriffenen Substanzen. Die nächste Folge davon ist, dass die während der Quellung eindringende Imbibitionsflüssigkeit eine andere Zusammensetzung annimmt, als die umspülende Lösung, woraus sie geschöpft wurde, oder als die beiden heterogenen Flüssigkeiten, welche durch die Membranen diffundiren. Befindet sich z. B. auf der einen Seite einer organisirten Membran eine concentrirte Lösung von Kochsalz, auf der andern reines Wasser, so umgibt sich jedes Molecül mit einer Flüssigkeitshülle, die zunächst seiner Oberfläche nur aus Wasser besteht, da hier die vorwiegende Anziehung zwischen diesem und der Substanz die Einlagerung von Salztheilchen nicht gestattet. Diese Einlagerung beginnt erst in einiger Entfernung von der Oberfläche und nimmt sodann bis gegen die Grenzflächen der sich berührenden Flüssigkeitshüllen, wo der Salzgehalt sein Maximum erreicht, quantitativ zu. Die Molecularinterstitien, welche der Salzlösung am nächsten liegen, führen also in ihren mittleren Theilen die nahezu unveränderte Lösung, in der Nähe der Wandungen dagegen reines Wasser; nach der anderen Seite hin nimmt natürlich der Salzgehalt allmählich ab. Diese mittleren Theile verhalten sich hienach in ihrer Gesammtheit wie ein System von Röhren, welche auf der einen Seite in Wasser, auf der andern in die nämliche Salzlösung münden würden; sie befördern daher ebensoviel Salz nach der einen als Wasser nach der andern Seite hinüber. Die salzarme Wandschicht erfährt dagegen bloss eine einseitige oder doch einseitig vorwiegende Anziehung nach der Salzlösung hin; sie wird daher in continuirlicher Strömung dieser Lösung zufliessen und sich immer wieder aus dem anstossenden Wasservorrathe ergänzen.

Zu der Wassermenge, welche durch den mittleren Theil der Molecularinterstitien strömt und welche der nach der entgegengesetzten Seite wandernden Salzmenge gleich ist, kommt also noch eine zweite durch die einseitige peripherische Strömung hinzu, so dass im Ganzen nothwendig mehr Wasser nach der einen, als Salz nach der anderen Seite hin befördert wird.

Es lässt sich auch voraussehen, dass das Verhältniss der beiden Ströme zu einander sowohl von der Natur der Membran als auch von der Concentration der Lösung und der Natur des gelösten Stoffes abhängig sein muss; dass es z. B. für Kali ein anderes sein wird als für Kochsalz, und für Collodiumhäutchen ein anderes als für vegetabilische Zellmembranen. Denn mit der Natur der Körper wechseln selbstverständlich auch die wechselseitigen Anziehungen, welche hier

die treibenden und die Widerstand leistenden Kräfte sind, und mit der Concentration der Salzlösung ändert sich auch die Strömungsgeschwindigkeit für Wasser und Salz. Ebenso ist ersichtlich, dass der salzlose Theil der Flüssigkeitshüllen um so mehr ins Gewicht fallen muss, je kleiner die Interstitien, weil überhaupt in engen Räumen verhältnissmässig mehr Theile der Wand näher liegen, als in weiten. Das endosmotische Aequivalent wird also unter übrigens gleichen Umständen in Membranen mit gröblichen Räumen (Pergamentpapier, Harnblase etc.) stets kleiner ausfallen als in solchen von homogener Beschaffenheit, und in diesen letzteren um so kleiner, je dichter (wasserärmer) die Substanz.*)

Es wäre ein Leichtes, diese theoretischen Betrachtungen auf Grundlage der atomistischen Anschauung noch weiter auszuspinnen und zugleich darzulegen, dass die auf diesem Wege gewonnenen Schlüsse mit den bis jetzt durch Versuche erzielten Resultaten übereinstimmen. Für unsere Zwecke mag indess das Vorstehende genügen. Es sollte vor Allem gezeigt werden, dass die Brücke'sche Theorie der Diffusionserscheinungen sich nicht bloss auf gröbliche Räume, wie sie in den thierischen Bindegeweben (Herzbeutel, Harnblase) vorkommen, sondern auch auf die Molecularinterstitien der Membranen anwenden lässt. Das Uebrige findet man in den Lehrbüchern der Physik und der Physiologie, auf welche wir hiemit verweisen, mit genügender Ausführlichkeit dargelegt.**)

Um die Wirkungen zu verstehen, welche die durch Diosmose 396
bedingte Zu- oder Abnahme des Inhaltes in den Zellen hervorruft, ist es nöthig sich zu vergegenwärtigen, dass die umhüllenden Häute derselben, der Primordialschlauch und die Zellmembran, sich wesentlich ungleich verhalten. Der Primordialschlauch leistet dem Druck, welcher von innen oder aussen auf ihn wirkt, nur einen äusserst geringen Widerstand; wäre er isolirt, so müsste er sich vermöge seiner ausserordentlichen Dehnbarkeit beinahe unbegrenzt ausdehnen oder zusammenziehen.

---

*) Mit der Abnahme des Wassergehaltes werden die Molecüle grösser und mit der Grössenzunahme der Molecüle werden die Abstände ihrer Oberflächen kleiner, die Wasserhüllen also dünner. Siehe Nägeli, Stärkekörner, pag. 333, 345 ff.

**) Man vergleiche namentlich Ludwig, Lehrb. d. Physiol. des Menschen, 1. u. 2. Abschnitt; Fick, Medicinische Physik pag. 40 ff., sowie die dort angeführten Originalarbeiten.

Die Membran dagegen ist in der Regel relativ starr; sie wird durch Vermehrung des Zellinhaltes gespannt, ohne sich merklich auszudehnen, und platzt, wenn der hydrostatische Druck zu stark wird. Ebenso widersteht sie einem von aussen wirkenden Drucke ohne merkliche Formveränderungen; selbst dünne Membranen contrahiren sich nicht *), sondern werden nur eingeknickt, wie eine Blechbüchse, aus welcher man die Luft auspumpt. Aus diesem Gegensatze erklärt sich das Ablösen des Schlauches von der Membran bei vorwiegender Exosmose und das Freiwerden desselben nach dem Zerreissen der Membran bei vorwiegender Endosmose. Der letztere Vorgang ist indess noch an die weitere Bedingung geknüpft, dass der Schlauch sich leicht von der Membran abhebe; wo diess nicht der Fall, findet an der gerissenen Stelle der Membran auch ein Platzen des Schlauehes statt.

Eine membranlose Zelle (Schwärmspore u. dgl.) vergrössert sich in Folge der Endosmose so lange, bis der Widerstand des Primordialsehlauches (und der sich bildenden Zellmembran) der endosmotisehen Kraft das Gleichgewicht hält. Von diesem Zeitpunkte an erfolgt der Austauseh der Flüssigkeiten ohne Volumenzunahme, d. h. die beiden entgegengesetzten Ströme sind gleich stark.

Lebende und todte Zellen verhalten sich diosmotisch nicht gleieh. Der lebende Plasmaschlaueh ist bekanntlich für gelöste Farbstoffe (Erythrophyll, Anthocyan) undurehdringbar, er hält dieselben in den Zellen zurück, in welchen sie sich bilden; der todte dagegen lässt sie ungehindert austreten. Eine bestimmte Ursache für diese Erscheinung lässt sich nicht angeben. Nur im Allgemeinen ist es gewiss, dass beim Absterben des Primordialschlauches Veränderungen in den wirksamen Molecularkräften eintreten, wie diess früher aueh für die absterbende Membran angenommen wurde.

---

*) Eine sehwache Contraction muss natürlich immer angenommen werden; sie ist jedoch bei den meisten mikroskopischen Objecten kaum messbar und darf daher bei Betrachtungen, wie die obige, geradezu vernachlässigt werden.

III.

Licht.

1. Bestimmung des Brechungscoefficienten.

Nachdem die Erscheinungen der Lichtbrechung in mikroskopischen Objecten bereits in der Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung besprochen worden, bleibt uns hier noch die praktische Verwerthung derselben zur Bestimmung der Brechungscoefficienten zu erwähnen übrig. Den Polarisationserscheinungen wurde ihrer hervorragenden Wichtigkeit wegen ein besonderer Abschnitt gewidmet. 397

Schon Brewster benutzte das Mikroskop zur Bestimmung des Brechungscoefficienten kleiner Flüssigkeitsmengen, indem er die ringförmige, oberseits vorstehende Fassung einer gleichseitigen biconvexen Linse, welche als Objectiv diente, mit der betreffenden Flüssigkeit füllte und dann ein gewöhnliches Deckgläschen darüber legte. Dadurch wurde die Linse in eine planconvexe Doppellinse umgewandelt, folglich ihre Brennweite vergrössert. War das Mikroskop vorher auf ein beliebiges Object scharf eingestellt, so musste es jetzt etwas gehoben werden, und zwar ist die Verschiebungsgrösse offenbar abhängig vom Brechungscoefficienten der Flüssigkeit. Ist der Abstand des reellen Bildes vom Objectiv P und die entsprechende Objectdistanz für die biconvexe Linse vor und nach der Verbindung mit der zu untersuchenden Flüssigkeit beziehlich p und $p + d$; bezeichnet man ferner den Brechungscoefficienten der Linse mit n, den der Flüssigkeit mit n^* und den gemeinsamen Krümmungsradius mit r, so ist die Brennweite der Doppellinse gegeben durch $\frac{2(n-1)}{r} - \frac{n^*-1}{r}$. Es bestehen somit nach Früherem die Gleichungen

$$\frac{1}{p} = \frac{2(n-1)}{r} - \frac{1}{P}$$

$$\frac{1}{p+d} = \frac{2(n-1)}{r} - \frac{n^*-1}{r} - \frac{1}{P} = \frac{1}{p} - \frac{n^*-1}{r}$$

Hieraus erhält man durch eine leicht zu übersehende Umsetzung

$$n^* = 1 + \frac{rd}{p(p+d)}.$$

Diese Formel ist jedoch nur unter der Voraussetzung richtig, dass die Dicke der Linsen gegen die Objectabstände vernachlässigt werden darf. Ihre Anwendung ist überdiess mit dem Nachtheil ver-

bunden, dass die Bestimmung des Krümmungsradius bei kleinen Linsen eine schwierige Aufgabe ist. Die genaueste Lösung wird immer noch dadurch erzielt, dass man die Linse etwas geneigt auf den Objectträger bringt und das von derselben erzeugte Spiegelbild eines Gegenstandes von bekannter Grösse und Entfernung mikrometrisch misst.

398 Moser und ebenso Bertin gaben der zu untersuchenden Substanz die Form einer Lamelle mit parallelen Endflächen und bestimmten sodann die Tubusverschiebung, welche nothwendig ist, um ein Object vor und nach der Bedeckung mit einer solchen Lamelle deutlich zu sehen. Man sieht leicht ein, dass die Beziehung der Verschiebungsgrösse x zum Brechungscoefficienten n der Substanz durch die nämliche Formel gegeben ist, welche früher (pag. 56) für die Wirkung der Deckgläschen aufgestellt wurde, nämlich

$$x = D\left(1 - \frac{\tang \alpha'}{\tang \alpha}\right)$$

wobei α und α' die Einfalls- und Brechungswinkel der vom Objecte ausgehenden Strahlen bezeichnen. Vergleicht man mit dieser Formel, die strenge richtig ist, die Moser'sche

$$x = D\left(1 - \frac{1}{n}\right),$$

so ist klar, dass diese letztere nur so lange annähernd richtig sein kann, als die Tangenten der Einfalls- und Brechungswinkel sich nahezu wie die Sinus, d. h. wie $1 : n$ verhalten, was bekanntlich nur bei sehr kleinen Winkeln der Fall ist. Die Moser'sche Formel ist daher nur für Objective mit sehr kleinen Oeffnungswinkeln brauchbar. *)

Bertin verfuhr nach einem andern Princip. Er bestimmte bei feststehendem Objectiv und ausziehbarem Ocular die Vergrösserungen G, γ, g eines Objectivmikrometers oder sonst eines geeigneten Objectes von bekannter Grösse, wenn dieses auf dem Tisch des Mikroskops nacheinander auf die zu untersuchende Lamelle, dann unter dieselbe gelegt und endlich nach Wegnahme der Lamelle beobachtet wird. Der Brechungscoefficient soll alsdann durch die Relation gegeben sein

*) Setzt man z. B. α in obiger Formel $= 18^0$, $n = 1{,}5$ und berechnet nun für die gewöhnliche Dicke eines Deckgläschens die Hebungsgrösse x, so erhält man durch Substitution der letzteren in die zweite Formel $n = 1{,}54$, also um $0{,}04$ zu viel.

$$n = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{G - g}{G - \gamma}.$$

Die Richtigkeit dieser Formel ist indess ebenfalls, wie aus der Ableitung zu ersehen ist, an die Bedingung geknüpft, dass $\frac{\tang \alpha'}{\tang \alpha} = \frac{1}{n}$ (s. die Ableitung derselben Ann. de Chim. et Phys. 3ième Serie 1849 T. XXVI. p. 288).

Bei sehr dicken Lamellen empfiehlt Bertin die Vergleichung mit anderen, deren Brechungscoefficient n' bekannt ist, wobei folgende Formel in Anwendung kommt, in welcher e und e' die Dicke der beiden Lamellen bedeutet

$$\frac{e\left(1 - \frac{1}{n}\right)}{e'\left(1 - \frac{1}{n'}\right)} = \frac{\frac{1}{g} - \frac{1}{\gamma}}{\frac{1}{g'} - \frac{1}{\gamma'}}.$$

Die mitgetheilten Controlmessungen dürfen im Ganzen befriedigend genannt werden, da die erhaltenen Werthe höchstens um 0,02 von den wirklichen abweichen und oft genau übereinstimmen. Die angewandten Vergrösserungen betrugen beispielsweise

G	γ	g
106,7	28,6	21,1
330,0	65,0	46,0

Zu diesen eben besprochenen Methoden fügt Harting eine 399
dritte, welche zwar nur für Flüssigkeiten passt, aber sehr genaue Resultate liefern soll. Sie stützt sich auf die früher besprochene Eigenschaft der Luftblasen, von Gegenständen, welche in den einfallenden Lichtkegel eingetaucht sind, virtuelle Bilder zu entwerfen, deren Lage und Grösse vom Brechungsvermögen des umgebenden Mediums abhängt. Die Lage ist für grössere Entfernungen des Gegenstandes, wie man leicht einsieht, durch die Brennweite f bestimmt, da das Bildchen sehr annähernd in die Focalebene fällt; die Grösse lässt sich aus der bekannten des Gegenstandes und dem gegebenen Verhältniss der Vereinigungsweiten leicht berechnen. Nach Früherem (pag. 194) ist die Brennweite der Luftblase $f = -\frac{r}{(2n - 1)}$, wobei r den Radius und n den Brechungscoefficienten der Flüssigkeit bezeichnet. Hieraus ergiebt sich

$$n = \frac{2f - r}{2f}$$

oder wenn das Grössenverhältniss zwischen Object und Bild durch $\frac{M}{m}$ und der Objectabstand durch p ausgedrückt wird —

$$n = 1 + \frac{M}{m} \cdot \frac{r}{2p} \text{ (vgl. pag. 199).}$$

Hiebei darf aber nicht vergessen werden, dass diese Formeln nur für Centralstrahlen gelten und folglich in der Praxis nicht unmittelbar anwendbar sind, weil das Mikroskop sogar Randstrahlen von 30° Neigung und darüber zum Auge leitet. Es wurde schon oben gezeigt, dass hiedurch die Brennweite einer Luftblase in Wasser ungefähr um 0,2 des Radius verkürzt wird. Dazu kommt noch (insofern man die Brennweite durch successive Einstellung auf die Mitte der Luftblase und auf deren Bildchen bestimmt) eine weitere Verkürzung, welche vom Uebergang des Lichtes aus Wasser in Luft herrührt und welche nur dadurch beseitigt werden kann, dass man den Raum zwischen Objectiv und Deckgläschen ebenfalls mit Wasser oder mit der zu untersuchenden Flüssigkeit ausfüllt (vgl. pag. 235 u. f.).

Eine analoge Wirkung ist zu berücksichtigen, wenn man das Grössenverhältniss zwischen Object und Bild durch Beobachtung bestimmt. Die Strahlen, welche von den Randpunkten des Objects ausgehen, werden beim Uebergang in die Beobachtungsflüssigkeit (die als Träger dienende Glasplatte kann vernachlässigt werden) so gebrochen, dass sie rückwärts verlängert innerhalb jener Randpunkte fallen. Das Object erscheint also, von der Luftblase aus gesehen, kleiner als es wirklich ist, und das von ihr entworfene Bildchen entspricht diesem verkleinerten, nicht dem wirklichen Object. Auch dieser Uebelstand kann nur gehoben werden, indem man den Raum zwischen Object und Glasplatte mit der nämlichen Flüssigkeit ausfüllt, was natürlich schon grössere Quantitäten der letzteren voraussetzen würde.

400 Harting erwähnt nun auffallender Weise von all' diesen Fehlerquellen kein Wort. Er misst einfach den Objectabstand a, den er der einfacheren Rechnung wegen zu 100 m. m. festsetzt, dann den Durchmesser des Objectes b, sowie den der Luftblase d und des Bildchens c. Hieraus bestimmt er den Brechungscoefficienten n nach folgender von seinem Collegen van Rees entwickelten Formel

$$n = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{(b-c)\,d}{4\,a\,c}}$$

oder da c im Verhältniss zu b als unendlich klein gelten kann

$$n = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{b\,d}{4\,a\,c}}.$$

Harting gibt über die Voraussetzungen, unter welchen van Rees diese Formel erhielt, keinerlei Andeutungen; wir haben es daher versucht, dieselben aus der Formel selbst abzuleiten, um hierdurch einen Maassstab für ihre Genauigkeit zu erhalten, und geben nun nachstehend die Entwicklung derselben.

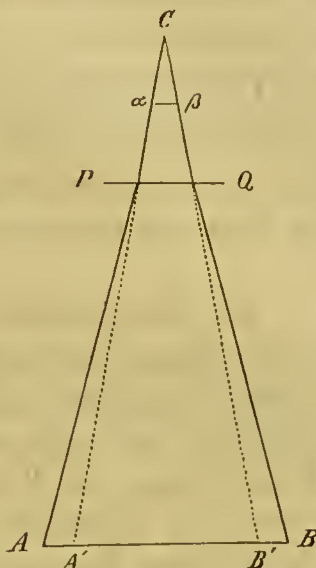


Fig. 206.

Sei C (Fig. 206) das Centrum der Luftblase, PQ die untere Grenzfläche der umgebenden Flüssigkeit, deren Brechungscoefficient n bestimmt werden soll; ferner AB das Object und $\alpha\beta$ das von der Luftblase entworfene Bild. Alsdann werden die von A und B ausgehenden Strahlen an der Grenzfläche PQ so gebrochen, als ob sie von den Punkten $A'B'$ ausgingen. Da der Abstand des Punktes C von PQ vernachlässigt werden darf, so besteht die Beziehung

$$A'\,B' = \frac{\operatorname{tang}\,\alpha'}{\operatorname{tang}\,\alpha}\,.\,AB,$$

wenn α und α' die Neigungswinkel der Geraden AC und $A'C$ bezeichnen. Sind diese Winkel sehr klein, so verhalten sich ihre Tangenten, wie ihre Sinus, und man hat

$$A'\,B' = \frac{1}{n}\,AB.$$

Wird nun der Abstand des Bildchens vom Centrum der Luftblase gleich der Brennweite f angenommen, was bei einer hinreichend grossen Objectsweite unbedingt erlaubt ist, so ergiebt sich, wenn wir die Harting'schen Bezeichnungen einführen, die Proportion

$$\frac{1}{n}\,b : c = a : f, \quad \text{folglich}$$

$$b : c = a : \frac{1}{n}\,f \text{ und hieraus}$$

$$\frac{1}{n}\,f = \frac{a\,c}{b}$$

oder wenn man statt f seinen Werth für Centralstrahlen setzt

$$\frac{r}{2\,n\,(n-1)} = \frac{d}{4\,n\,(n-1)} = \frac{a\,c}{b}.$$

Durch eine leicht zu übersehende Umsetzung erhält man hieraus die quadratische Gleichung

$$n^2 - n = \frac{bd}{4ac},$$

deren Auflösung die obige Formel von van Rees ergiebt. Dieselbe ist also nur unter der Voraussetzung richtig, dass das Bildchen in den Brennpunkt für Centralstrahlen falle, und diese Voraussetzung ist, wie wir gezeigt haben, durchaus unzulässig. Die Brennweite für Centralstrahlen beträgt in Wasser, wenn $n = \frac{4}{3}$ gesetzt wird, genau 1,5 r, der Abstand des Bildchens dagegen bei mittlerer und starker Vergrösserung nur c. 1,368 — 1,30 r.

401 Wie Harting dessenungeachtet zu Resultaten gelangen konnte, welche bis zur 4ten Decimale genau sein sollen, ist uns unbegreiflich. Unsere Messungen ergaben für bekannte Flüssigkeiten (Wasser, Citronenöl etc.), wie sich erwarten liess, durchgehends zu hohe Werthe für n, für Wasser z. B. 1,354 bis 1,348, und wir glauben hieraus mit Sicherheit entnehmen zu dürfen, dass die nach der Harting'schen Formel erhaltenen Ziffern ganz allgemein schon in der zweiten Decimale wenigstens um eine Einheit von dem wahren Werthe abweichen. Der Fehler müsste sogar noch etwas grösser ausfallen, wenn in obiger Gleichung für $\frac{\operatorname{tang} \alpha'}{\operatorname{tang} \alpha}$ der wahre Werth dieses Ausdrucks, statt $\frac{1}{n}$, gesetzt würde, und zwar ergiebt die Rechnung für die Harting'schen Messungen, wobei $a = 5b$, folgende Verhältnisse.

Die zu untersuchende Flüssigkeit sei reines Wasser, dann ist $\frac{\operatorname{tang} \alpha'}{\operatorname{tang} \alpha} = 0{,}997658 . \frac{1}{n}$ und die Brennweite der Luftblase für Randstrahlen von 15° (bei stärkeren Vergrösserungen sind noch grössere Neigungen maassbestimmend) = 1,3689 . r, also nur 0,91258 der Hauptbrennweite f. Führt man diese Werthe in die betreffenden Gleichungen ein, so erhält man

$$n = \frac{0{,}91258}{0{,}99765} . \frac{bf}{ac} = 0{,}91474 . \frac{bf}{ac}$$

und hieraus wie oben

$$n = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + 0{,}91474 . \frac{bd}{4ac}}.$$

Das zweite Glied unter dem Wurzelzeichen ist also in der Harting'schen Formel zu gross. Um den Fehler annähernd gut zu machen, müsste im gegebenen Falle das Verhältniss von b zu a so gewählt

werden, dass $\frac{\text{tang}\,\alpha'}{\text{tang}\,\alpha} = 0{,}91258 \cdot \frac{1}{n}$. Die Brennweite der bilderzeugenden Strahlen würde zwar dadurch ebenfalls etwas verändert, jedoch nicht in erheblichem Grade.

Man ersieht aus dem Angeführten, dass es nicht wohl möglich ist, an der genannten Formel eine Correction anzubringen, welche ihr allgemeine Geltung verleiht, da die Correctionsgrösse wieder von dem unbekannten Brechungscoefficienten abhängig sein muss. Für die meisten Flüssigkeiten wird indess der oben für Wasser bestimmte Coefficient 0,91474 (oder auch 0,9) wenigstens die ersten beiden Decimalen richtig liefern.

Uebrigens scheint uns bei mikroskopischen Untersuchungen die 402
Bestimmung des Brechungscoefficienten von Flüssigkeiten weniger wichtig zu sein, als die von festen Körpern. Wir haben uns daher bemüht, eine ähnliche Formel auch für kugelige und cylindrische Körper, wie Stärkekörner, Bastzellen u. dgl., aufzustellen und experimentell zu prüfen. Sei f die (wirkliche) Brennweite für Centralstrahlen, F die gemessene Brennweite derselben, n der Brechungscoefficient der Beobachtungsflüssigkeit, n^* derjenige des kugeligen oder cylindrischen Gegenstandes und D sein Durchmesser; dann ist nach Früherem für Centralstrahlen (wegen der Verkleinerung der Niveaudifferenzen, vgl. pag. 235) $f = nF$, folglich

$$nF = \frac{n^* D}{4\,(n^* - n)}; \text{ hieraus}$$

$$n^* = \frac{n^* F}{nF - \frac{1}{4} D}$$

Nimmt man nun an, die Brennweite der maassbestimmenden Randstrahlen betrage 0,9 der in diesem Ausdruck figurirenden Hauptbrennweite, so muss der durch Messung erhaltene Werth von F mit $\frac{10}{9}$ multiplicirt werden, wenn die Formel annähernd richtige Ergebnisse liefern soll. Ob diese Annahme bei einem gegebenen Objectiv mit der Wirklichkeit übereinstimmt, muss natürlich experimentell geprüft werden, indem man z. B. Oeltropfen oder cylindrische Glasfäden, deren Brechungscoefficient bekannt ist, mikroskopisch untersucht. Wir wollen der Allgemeinheit wegen statt $\frac{10}{9}$ die Grösse β in die Formel einführen; dann wird dieselbe für Objecte, die in Wasser liegen ($n = 1{,}3356$)

$$n^* = \frac{1,7838\,F}{1,3356\,F - \frac{1}{4\beta}\,D} \text{ oder annähernd } \left(n = \frac{4}{3}\right)$$

$$n^* = \frac{16\,F}{12\,F - \frac{9}{4\beta}\,D} = \frac{8\,F}{6\,F - \frac{9}{8\beta}\,D}$$

und für Objecte, die in Alkohol liegen ($n = 1,364$)

$$n^* = \frac{1,86\,F}{1,364\,F - \frac{1}{4\beta}\,D} = \frac{8,37\,F}{6,1365\,F - \frac{9}{8\beta}\,D}$$

Da der Coefficient $\frac{9}{8\beta}$ jedenfalls annähernd der Einheit gleich ist, so muss der Werth von n^* um so genauer ausfallen, je grösser F gegen D. Ist z. B. $F = 2\,D$, was nach unseren Messungen bei kleinen kugeligen Stärkekörnern von 18 — 24 Mik. Durchmesser und ebenso bei cylindrischen Bastzellen nahezu der Fall ist, so ergeben sich für n^* folgende Werthe

$\beta = \frac{10}{9}$ dann wird $n^* = 1,456$

$\beta = \frac{9}{8}$ - - $n^* = 1,454$

$\beta = \frac{8}{7}$ - - $n^* = 1,452$

$\beta = \frac{7}{6}$ - - $n^* = 1,450$.

Die ersten beiden Decimalen dürfen also, wenn die Messungen genau sind, als richtig betrachtet werden, was bei vergleichenden Untersuchungen an verschiedenen Zellmembranen oder verschiedenen Quellungsstadien derselben Membran in den meisten Fällen ausreicht.

403 Zur annähernden Bestimmung des Brechungscoefficienten hohlcylindrischer Gebilde wurden bereits oben (pag. 203) einige Anhaltspunkte geboten, und es wäre ein Leichtes, jene Tabelle nach Belieben zu vervollständigen. Für die Praxis wäre jedoch damit nicht gar viel gewonnen, da die Hauptschwierigkeit, die man hier zu bekämpfen hat, darauf beruht, die Lage der (äussern) hellen Linien mit Rücksicht auf die Contouren der Wandung hinlänglich genau zu bestimmen. Es hält das in der Regel so schwer, dass das Verfahren nur zur Ermittlung grösserer Differenzen im Brechungsvermögen dienen kann. Immerhin aber genügt es vollkommen, um z. B. den grossen Unterschied zwischen den Membranen der Fadenalgen und den Haaren der Boragineen etc. nachzuweisen.

2. Die Durchleuchtung der Körper.

Nach den Versuchen von J. Sachs*) haben pflanzliche Gewebe 404
die Eigenschaft, die brechbaren Strahlen des Spectrums in stärkerem Verhältniss zu absorbiren, als die weniger brechbaren. Daraus folgt denn, dass Gewebelamellen, welche z. B. aus Kartoffeln, Früchten u. dgl. geschnitten wurden, nur bis zu einer gewissen Dicke weisses Licht durchlassen, dann aber — wenn die Dickenzunahme allmählich weiter und weiter über diese Grenze hinausgeht — der Reihe nach die violetten, blauen, grünen .... Strahlen absorbiren und daher dem beobachtenden Auge in der Mischfarbe der nicht absorbirten durchgehenden Strahlen, zuletzt also noch roth erscheinen.

Sachs stellte seine Beobachtungen mit Hülfe eines höchst einfachen Apparates an, welcher aus zwei in einander verschiebbaren und an den Enden mit kleinen Oeffnungen versehenen Röhren (Fig. 207) bestand. Die zu untersuchende Gewebelamelle wurde bei *A* zwischen die beiden Röhrenenden eingeklemmt und nun gegen die Sonne oder eine weisse Wolke gehalten, hiebei jedoch das andere (zweckdienlich zugeschnittene) Ende des Apparates behufs Abhaltung alles fremden Lichtes möglichst dicht an die Umgebung des Auges angedrückt. — Um noch einen Schritt weiter zu gehen, kann man am Ocularende der Röhre ein Prisma einfügen welches die resultirende Mischfarbe zerlegt. Auf diese Weise gelang es Sachs, nicht bloss die Elementarfarben des durchgehenden Lichtes einzeln zur Wahrnehmung zu bringen, sondern auch zu zeigen, dass das in Plasma eingelagerte Chlorophyll grüner Gewebe genau dieselben Absorptionsstreifen im Spectrum hervorruft, wie sie bei Chlorophyll-Lösungen längst bekannt sind.**)

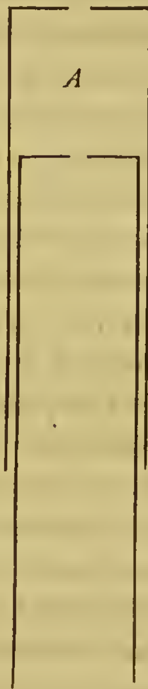


Fig. 207.

Näheres über die Einrichtung eines solchen »Diaphanoskops« mitzutheilen, halten wir für überflüssig, da das Instrument in der Hand eines geschiekten Beobachters gewiss noch manche Vervollkommnungen erfahren, und eine bloss dem Zweck einer vorläufigen Orientirung dienliche Construction schon nach dem Gesagten Niemanden schwer fallen wird.***)

*) Sitzungsber. der Wien. Akad. d. Wiss. Bd. XLIII. 1860.

**) Vgl. hierüber Harting, Pogg. Ann. Bd. 96. S. 543.

***) Eine Abbildung des von Sachs benutzten »analysirenden Diaphanoskops« findet man in dessen »Handbuch der Experimentalphysiologie« p. 7.

405 Man könnte uns hier, im Hinblick auf das eben skizzirte Beobachtungsverfahren, mit der Frage entgegentreten, ob Untersuchungen dieser Art, wobei die Gewebe nur in ihrer Gesammtwirkung, gleichsam als homogene Massen, in Rechnung kommen, überhaupt in das Gebiet der Mikrophysik gehören. Diese Frage hätte insofern ihre Berechtigung, als das Mikroskop für die Beobachtung der Lichtabsorption selbst allerdings so gut wie keine Bedeutung hat. Liesse sich auch ein schwach vergrösserndes Instrument leicht zweckentsprechend einrichten, indem man die Lichtstärke möglichst steigerte und durch eine Beleuchtungslinse directes Sonnenlicht in convergirenden Strahlen auf das Object einfallen liesse, so hätte ein solches Verfahren doch offenbar nur dann einen Werth, wenn die Kleinheit des Gegenstandes die Beobachtung mit blossem Auge erschweren würde, und dieser Fall kann aus dem einfachen Grunde nicht leicht eintreten, weil eine gewisse und zwar oft ziemlich beträchtliche Ausdehnung in der Richtung der durchgehenden Strahlen nothwendig ist, um die erwähnte Lichtabsorption überhaupt wahrnehmbar zu machen. — Andererseits lässt sich aber nicht in Abrede stellen, dass eine vollständige Verwerthung der beobachteten Farbenerscheinungen, ja schon eine befriedigende Erklärung derselben, ohne die genaueste Kenntniss der Gewebe, welche sie hervorrufen, nicht möglich ist. Wie soll der Einfluss der verschiedenen Medien, welche hiebei in Betracht kommen: der Zellmembranen und Stärkekörner, der Plasmagebilde, Farbstoffe etc. bestimmt werden, wenn man nicht durch eine Reihe von Beobachtungen an Geweben, worin jene Medien in quantitativ verschiedener Weise combinirt sind, die Beziehungen ermittelt, welche zwischen der Zu- und Abnahme eines bestimmten Factors und der resultirenden optischen Wirkung bestehen? Der Beobachter hat es hier offenbar mit einem complicirten Problem zu thun, dessen Lösung nicht eher möglich ist, als bis so viele Beziehungen oder, um einen mathematischen Ausdruck zu gebrauchen, so viele Gleichungen ermittelt sind, als man Unbekannte zu bestimmen hat. Und weil die Daten, welche in diese Beziehungen eintreten, zum guten Theil anatomische sind, so muss der mikroskopischen Beobachtung bei solchen Untersuchungen immerhin eine wesentliche Stelle eingeräumt werden.

3. Einfluss des Lichtes auf Vegetationsprocesse.

406 Von den Wirkungen des Lichts auf das Pflanzenleben, welche der Beobachtung durch das Mikroskop zugänglich sind, wollen wir

hier nur diejenigen erwähnen, deren richtige Deutung zu den schwierigeren Aufgaben der mikroskopischen Forschung zu rechnen ist. Es wäre überflüssig, gewöhnliche entwicklungsgeschichtliche Vorgänge, welche auf Präparaten, die die erforderlichen Uebergangsstadien repräsentiren, so zu sagen direct beobachtet werden können, an dieser Stelle besonders in Betracht zu ziehen.

Eine der wichtigsten der hieher gehörigen Fragen, welche neuerdings von Sachs angeregt wurde, betrifft die Amylumbildung in den Chlorophyllkörnern. Sachs beobachtete, dass Keimpflanzen, welche sich so lange im Finstern entwickelt hatten, bis die früher vorhandene Stärke und das Fett aus allen Organen verschwunden waren, im Verlaufe ihres weiteren Wachsthums am Tageslichte zuerst in den Chlorophyllkörnern der grün gewordenen Blätter, dann in den leitenden Geweben der Blattstiele und noch später in dem farblosen Parenchym kleine Stärkekörnchen enthalten, und dass diese Körnchen bei Abhaltung des Lichtes wieder verschwinden, um bei erneuter Lichteinwirkung zum zweiten Male zum Vorschein zu kommen.*) Er schloss hieraus, dass die Chlorophyllkörner die ursprüngliche Bildungsstätte der Stärkekörner seien, und dass hier der Wechsel von Tag und Nacht einen entsprechenden Wechsel von Stärkebildung und Stärkeauflösung bedinge, wovon jedoch die erstere während der langen Sommertage vorwiege.

Ist diese Darstellung richtig — und wir haben vorläufig keinen stichhaltigen Grund, dieselbe zu bezweifeln — so müsste es wohl möglich sein, an günstigen Objecten die Thatsache einer periodisch stattfindenden Resorption zur Wahrnehmung zu bringen. Denn da die letztere, ähnlich wie bei der Keimung und der Einwirkung des Speichels, voraussichtlich an der Oberfläche vor sich geht, indess das Wachsthum unter dem Einflusse des Lichtes durch Intussusception geschieht, so müssten die im Chlorophyll enthaltenen Körner nach und nach das Aussehen von in Auflösung begriffenen Kartoffelstärkekörnern annehmen, d. h. die Schichten müssten an der Oberfläche unter spitzern oder stumpfern Winkeln zu Tage gehen, und eine peripherische Schicht von dichterer Substanz und mit grösserer Widerstandsfähigkeit gegen Reagentien könnte nicht mehr vorhanden sein. Dieser letztere Punkt erscheint uns bei der Kleinheit der fraglichen Objecte, welche allerdings dem Studium des Schichten-

*) Näheres hierüber findet man in der Abhandlung von Sachs: Ueber den Einfluss des Lichts auf die Bildung des Amylum's in den Chlorophyllkörnern (Bot. Ztg. 1862).

verlaufes wenig Aussicht auf Erfolg eröffnen, besonders beachtenswerth. Es wäre vielleicht möglich zu zeigen, dass die Beschaffenheit der peripherischen Schicht bei kleinen Körnern, welche im Marke oder in der Wurzel etc. entstanden sind, eine andere ist als bei solchen, welche als Einschlüsse im Chlorophyll erscheinen und hier einem allnächtlich wiederkehrenden Auflösungsprocess ausgesetzt sind. Gelänge diess, so wäre damit immerhin eine werthvolle Thatsache gewonnen, welche die von Sachs aufgestellte Ansicht rechtfertigen würde.

407 Ein zweiter Punkt, der einer genaueren Untersuchung mit Hülfe des Mikroskops bedarf, ist die ebenfalls von Sachs*) beobachtete Farbenänderung grüner Blätter im Sonnenlicht. Dieselben werden bei starker Insolation beträchtlich heller, »um im Schatten nach kurzer Zeit wieder dunkelgrün zu werden. Durch theilweise Beschattung eines Blattes gelingt es, Schattenbilder auf seiner grünen Fläche zu erzeugen, die aber, sobald das ganze Blatt beschattet oder beleuchtet wird, wieder verschwinden, indem im ersteren Falle die ganze Fläche dunkler, im zweiten heller wird«. Eine Erklärung dieser Erscheinung ist bis jetzt nicht gegeben; es bestehen darüber bloss »Vermuthungen, die zunächst jedes Beweises entbehren«.

Unseres Erachtens handelt es sich hier um eine Erscheinung, welche im Zusammenhange mit den Farben der grünen Gewebe im Allgemeinen, speciell der Blätter, zu behandeln ist. Die Blattfarben differiren bekanntlich nicht bloss mit Rücksicht auf ihre Intensität, sondern auch hinsichtlich des Tons, den das ihnen eigenthümliche Grün besitzt. Es gibt grasgrüne, meergrüne, graugrüne Blätter u. s. w. Dass diese Verschiedenheit der Farbennuance nicht allein in der Farbe des Chlorophylls ihren Grund hat, sondern zum Theil von der grösseren oder geringeren Durchsichtigkeit der peripherischen Zellmembranen, von der Zahl und Grösse luftführender Zwischenzellräume,**) von der Natur des Zellinhaltes u. dgl. abhängig

---

*) Berichte der math.-phys. Kl. der Kgl. Sächs. Gesellsch. der Wiss. 1859. Einiges Nähere findet man im »Handb. der Experimentalphysiologie der Pflanzen« von dems. Verf. p. 16.

**) Wie sehr die Beschaffenheit der oberflächlichen Zellschichten auf die Färbung influirt, beweist beispielsweise das Verhalten mancher Flechten, deren Gonidienschicht im trockenen Zustande, d. h. wenn die darüber liegenden Rindenzellen Luft enthalten, kaum durchschimmert, während sie nach dem Eintauchen der Flechte in Wasser, weil dasselbe die Luft wenigstens theilweise verdrängt oder absorbirt, eine deutlich grüne Färbung der oberen Thallusfläche

ist, lässt sich von vorne herein annehmen. Es würde sich also darum handeln, zunächst die Factoren kennen zu lernen, welche überhaupt bestimmend auf Ton und Intensität der Blattfarben einwirken, und sodann in zweiter Linie den Einfluss zu ermitteln, den Licht und Schatten auf diese Factoren ausüben.

IV.

Wärme.

Ueber die Wirkungen der Wärme und Kälte auf das Pflanzen- 408
leben besitzen wir bereits eine ganz ansehnliche Literatur.*) Dieselbe befasst sich jedoch, wie schon ein flüchtiger Ueberblick zeigt, zum weitaus grösseren Theile mit Gebieten, welche die Mikrophysik nicht berühren und folglich ausserhalb des Rahmens liegen, an den wir uns hier zu halten haben. Das Wenige, was auf mikroskopische Dinge Bezug hat oder doch Schlüsse auf mikroskopische oder moleculare Verhältnisse gestattet, lässt sich etwa in folgende Punkte zusammenfassen.

1. Krystallbildungen bei dem Gefrieren.

Lässt man Durchschnitte durch saftige Pflanzentheile, z. B. 409
durch Runkelrüben, bei einer Temperatur von 3 — 6 ° R. unter Null sich langsam abkühlen, so bedecken sie sich, wenn die Verdunstung durch Auflegen einer Glasplatte oder auf irgend eine andere Weise gehemmt wird, mit einer Eiskruste, welche eine Dicke von 2 — 3 m. m. und darüber erreichen kann. Diese Eiskruste besteht, wie die mikroskopische Untersuchung zeigt, aus kleinen, unregelmässig sechseckigen Krystallsäulen, welche pallisadenartig neben einander stehen und mit ihren Seitenflächen sich unmittelbar berühren. Der Durchmesser dieser Krystalle wechselt zwischen 0,1 und 0,3 m. m. und ist von der Grösse der darunter liegenden Zellen unabhängig. Von der Seite gesehen, zeigt das Innere der Krystalle höchst regelmässige Reihen von Luftblasen, welche den Kanten parallel laufen, und

---

bedingt. Diess gilt auch von solchen Flechten, welche eine der Epidermis vergleichbare, aus einer einzigen Zellschicht bestehende Rinde besitzen.

*) Man vergleiche J. Sachs: Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen, Leipzig 1865.

deren einzelne Glieder bisweilen durch dünne Kanäle mit einander in Verbindung stehen; auch sieht man häufig, dass kleine Krystalle von der Schnittfläche aus wie Keile zwischen die grösseren eingeschoben sind, während umgekehrt auf der obern Seite niemals solche Eiskeile auftreten. Die Substanz der Krystalle ist nicht reines Wasser, sondern reagirt sauer, wie der Zellsaft.

Die Krystallbildung unterbleibt, wenn man die Pflanzentheile einer solchen Kälte (12—20°) aussetzt, dass sie zu harten Massen erstarren; sie unterbleibt ferner an all' den Stellen, wo die Verdunstung frei von statten geht.*)

Aus diesen Thatsachen ergiebt sich zunächst, dass die krystallbildende Flüssigkeit von den Zellen, nicht von der Atmosphäre, geliefert wird. Daraus folgt aber ferner, dass der im Gewebe enthaltene wässerige Zellsaft bei einer Temperatur von 3—6° R. unter Null noch nicht gefriert, vielmehr in flüssigem Zustande die Membranen durchströmt, um an der Oberfläche zu erstarren. Mehrere Procent des gesammten wässerigen Inhaltes werden auf diese Weise dem Gewebe entzogen und in Eis übergeführt.

410 Fragen wir nach den Kräften, welche eine solche Strömung stundenlang zu unterhalten vermögen, so sind wir vorläufig auf mehr oder minder hypothetische Ansichten und Vermuthungen angewiesen, die alle die Probe des Experiments noch nicht bestanden haben. Sachs (l. c. pag. 6) stellt den Vorgang mit dem Steigen des Saftes in Folge der Verdunstung in Parallele. Nach ihm ist jede freie Zellhautfläche mit einer dünnen Wasserschicht bedeckt, welche, wenn sie gefriert, sofort durch eine nachströmende zweite ersetzt wird, ganz so, als ob sie durch Verdunstung entfernt worden wäre. Die gefrorene Schicht soll sich hiebei wie eine Schicht von Asphaltlack verhalten, welche auf einer trockenen Harnblase oder auf trockenem Papier mit enormer Kraft hafte, sich aber in grossen Stücken ablöse, wenn die Blase oder das Papier mit Wasser benetzt werde, weil damit ebenfalls die Bildung einer feinen Wasserschicht zwischen Lack und Unterlage verbunden sei.

An dieser Darstellung ist der Grundgedanke, das Vorhandensein einer dünnen Flüssigkeitsschicht zwischen Krystallbasis und Unterlage und die fortwährende Erneuerung derselben durch nachströmen-

*) Einiges Nähere findet man in der Abhandlung von Sachs: »Krystallbildungen bei dem Gefrieren etc.« (Ber. der K. Sächs. Ges. der Wiss. 1860), welcher wir obige Angaben entnommen haben.

des Imbibitionswasser jedenfalls richtig. Es wird auch in überzeugender Weise nachgewiesen, dass die geringe Ausdehnung des Wassers von 4° abwärts bis zum Gefrierpunkt und der dadurch hervorgebrachte Druck bei dieser Erneuerung nicht in Betracht kommt. Dieselbe findet nämlich in gleicher Weise auch dann noch statt, wenn der Versuch mit frischen Geweben von 10—12° (wo das Wasser einen grössern Raum einnimmt als bei 0°) angestellt wird. Ebenso darf mit Sicherheit angenommen werden, dass die Contraction des Gewebes, welche mit der Krystallbildung verbunden ist, zum grössten Theil als eine Folge der Wasserabgabe und nicht als die Ursache derselben zu betrachten sei.*)

Dagegen erscheinen uns die herbeigezogenen Analogieen mit der Verdunstung und mit dem Ablösen der Asphaltschicht wenn auch nicht nachweisbar unzulässig, so doch mindestens von zweifelhafter Berechtigung. Beides sind Vorgänge, die allem Anschein nach mit dem in Frage stehenden Nichts gemein haben. Die Verdunstung entzieht einem feinen System von Capillarräumen, den Molecularinterstitien der Membranen, die obersten Wassertheilchen, und es ist natürlich, dass die capillaren Kräfte den Verlust sogleich ersetzen. Eine andere Wasserschicht als die, welche von den Wasserhüllen der peripherischen Molecüle gebildet wird, ist hier nicht vorhanden. Anders verhält es sich mit der zu erörternden Krystallbildung, soweit wenigstens die bisher angestellten Versuche darüber Aufschluss geben. Dieselbe spielt ausserhalb der Capillarräume, welche die Molecüle der Membranen trennen; sie beginnt mit dem an der Oberfläche (z. B. in durchschnittenen Zellen oder durch Auspressen) vorhandenen Wasser und veranlasst dadurch die Entstehung eines neuen, aber wahrscheinlich viel gröberen Capillargefässsystems, das an der Innenfläche der Eiskruste dahinzieht. Nur das Wasser, welches in

*) Eine der Wasserabgabe entsprechende Contraction ist bei einem saftergefüllten Gewebe selbstverständlich. Wenn z. B. ein Querschnitt durch eine Runkelrübe, welcher im frischen Zustande 90 Gramm wiegt, während des Gefrierens 5 Gramm und beim Aufthauen noch 3 Gramm, also im Ganzen 8 Gramm verliert, so ergiebt sich hieraus eine Volumveränderung von 90 auf 82, was einer Contraction von c. 3% nach jeder Richtung gleichkommt. Bringt man bloss die 5 Gramm Gewichtsverlust während des Gefrierens in Rechnung, so würde diess eine Volumenabnahme von c. 106 auf 100 ausmachen; allein da das Wasser sich beim Gefrieren von 100 auf 109 ausdehnt, so behält dieser Factor das Uebergewicht und bedingt eine Ausdehnung von c. 1% nach jeder Richtung. Wir bemerken übrigens, dass die experimentelle Bestätigung dieser Rechnung noch nicht geliefert ist. Sachs, dem wir obige Gewichtsangaben entlehnt haben, unterliess es, die entsprechenden Volumenveränderungen zu bestimmen.

dieses letztere System von Capillaren eindringt, gefriert, dehnt sich dabei etwas aus und bildet so neue Capillaren, in welchen der nämliche Process sich wiederholt. Und so geht es fort, so lange die Flüssigkeit nachströmt, ganz so, wie man es auch bei der Bildung künstlicher Krystalle vielfach beobachtet. *)

411 Diese Auffassung entspricht den bekannten Thatsachen jedenfalls besser, als die Annahme einer Eisbildung in den Wasserhüllen der peripherischen Membrantheilchen. So lange nicht experimentell nachgewiesen ist, dass ein durch eine continuirliche Membran abgeschlossenes Gewebe (z. B. benetzbare Früchte und saftige Blätter) die in Rede stehende Erscheinung ebenfalls hervorruft, ohne dass vorher eine Wasserschicht von mikroskopisch wahrnehmbarer Dicke die Oberfläche überzieht, so lange ist es gestattet, an der Möglichkeit einer solchen Eisbildung zu zweifeln. **)

Dass die einmal gebildete Eiskruste sich aus dem nämlichen Grunde ablöse, wie eine Lackschicht auf einer quellungsfähigen Substanz beim Befeuchten derselben, ist ebenso unwahrscheinlich. Die Lackschicht löst sich vorzüglich desshalb ab, weil die Quellung der Substanz eine seitliche Verschiebung ihrer kleinsten Theilchen bedingt und so den Zusammenhang mit den Lacktheilchen aufhebt, — ein Vorgang, wozu in unserem Falle die Bedingungen offenbar fehlen.

Die Annahme, dass der wässerige Zellsaft aus dem engen Capillarsystem der Molecularinterstitien in das wahrscheinlich viel weitere der Eiskruste ausströme, hat unter den gegebenen Verhältnissen nichts Unwahrscheinliches. Die Capillarattraction, welche an der Oberfläche der Gewebe wirksam ist, hat nämlich bloss die Widerstände zu überwinden, welche die Zellmembranen dem Durchgang der Flüssigkeitstheilchen und vermöge ihrer Biegungsfestigkeit auch der

---

*) Das Wachsthum künstlicher Krystalle findet häufig in der hier bezeichneten Weise statt. Man beobachtet z. B., wie Krystallnadeln, die an den feuchten Wänden eines Gefässes anschiessen, ohne die Mutterlauge zu berühren, sich durch Anlagerung neuer Substanz zwischen Gefässwand und Krystall oft sehr bedeutend verlängern.

**) Die von Hoffmann (Pflanzenklimatologie 1857. p. 329) beobachteten und von Sachs erwähnten Krystallbildungen auf der Unterseite der Blätter von Viburnum Tinus und Aucuba, bestehend aus feinen Eisnädelchen von charakteristischer Gruppirung, sind in dieser Frage nicht entscheidend, da sie möglicher Weise durch die Spaltöffnungen bedingt waren oder sogar von diesen ausgingen.

Verkleinerung des Zelllumens entgegensetzen. Diese Widerstände sind voraussichtlich um so geringer, je dünner und weicher die Zellmembranen.

Die im Vorhergehenden besprochenen Krystallbildungen stimmen wahrscheinlich mit einer Reihe anderer Erscheinungen überein, welche von Elliot, Herschel, Dana, Le Conte, Bouché und Caspary beobachtet wurden. Es sind diess nadelförmige, rechtwinklig von der Unterlage abstehende Eiskrystalle oder auch blattähnliche Bildungen, die sich an der Basis der Baumstämme, an den Stumpfen abgestorbener Disteln, an Zweigen verschiedener Pflanzen etc. entwickelt hatten und zum Theil eine beträchtliche Länge erreichten.*) Auch die Eisscheiben auf den Blattnarben der abgefallenen oder im Abfallen begriffenen Blätter, welche von Mohl beschrieben wurden (Bot. Ztg. 1860), gehören wahrscheinlich hieher. Alle diese Erscheinungen müssen indess erst genauer untersucht werden, ehe sie in der Mikrophysik Verwerthung finden können. 412

2. Das Gefrieren der Gewebe.

Die den Winter über ausdauernden Pflanzentheile müssen bei anhaltender grosser Kälte, auch wenn sie durch schlechte Wärmeleiter geschützt sind, offenbar nach und nach die Lufttemperatur annehmen und daher voraussichtlich gefrieren. Dass diess in vielen Fällen wirklich geschieht, beweisen die bekannten Erscheinungen, welche man nach der Einwirkung einer strengen Kälte an Früchten, Kartoffeln etc. beobachtet. Die Gewebe erscheinen alsdann vollkommen steif und brüchig und die Bruchflächen weisslich, was voraussetzt, dass ein grosser Theil ihrer Masse in einen andern Aggregatzustand übergegangen sei. Diess folgt auch aus dem Verhalten solcher Gewebe beim Aufthauen. Dieselben erwärmen sich viel langsamer als ungefrorene Gewebe von gleicher Temperatur, wie sich Eis von 0 Grad langsamer erwärmt als eine gleiche Menge Wasser; das Eine wie das Andere offenbar darum, weil die Wärme des umgebenden Mediums zunächst zum Schmelzen des Eises verwendet wird. 413

Welche Kältegrade das Gefrieren des wässerigen Zellsaftes mit physikalischer Nothwendigkeit herbeiführen, ist bis jetzt nicht genauer festgestellt; nur soviel ist gewiss und in Anbetracht der un- 414

*) Näheres hierüber findet man bei Caspary: »Auffallende Eisbildungen auf Pflanzen« (Bot. Ztg. 1854. p. 665).

gleichen Concentration der Säfte auch vorauszusehen, dass die Erstarrungspunkte bald höher bald tiefer, aber immer etwas unter Null liegen.

Der Gehalt an löslichen Bestandtheilen scheint übrigens nicht der einzige Umstand zu sein, welcher auf die Lage des Gefrierpunktes influirt; es ist wahrscheinlich, dass ausserdem noch die mikroskopische Kleinheit der Zellen und der darin enthaltenen Wassermengen in Anschlag kommt. Wir schliessen diess aus der bekannten Thatsache, dass kleine Wassertropfen und ebenso die Wassersäulen in feinen Capillarröhren bis unter 0 Grad flüssig bleiben und erst bei tieferen Temperaturen erstarren. *). In welchem Verhältniss aber der Widerstand, den die Molecularkräfte der Eisbildung entgegensetzen, mit der Kleinheit der Zelle zunimmt, ob vielleicht auch die besonderen Formverhältnisse darauf Einfluss üben, unter welchen Bedingungen endlich das Imbibitionswasser in den Molecularinterstitien der Membranen, des Protoplasma und der Stärkekörner gefriert, darüber lässt sich kaum eine Vermuthung aussprechen.

415 Betreffend die Volumenveränderungen, welche das Gefrieren der Gewebe bedingt, so sind zunächst folgende Punkte zu berücksichtigen. Ein gegebenes Quantum Wasser von 0 Grad dehnt sich beim Uebergang in Eis um ungefähr $^1/_{10}$ seines Volumens aus; die Oberfläche einer Zelle muss sich also von 100 auf 106 oder um c. $^1/_{17}$ ihres ursprünglichen Werthes vergrössern. Dieser Ausdehnungscoefficient bleibt auch dann noch nahezu derselbe, wenn die Zellflüssigkeit vor dem Gefrieren eine Temperatur von 15—20° besitzt und sich folglich während der Abkühlung etwas contrahirt. Die Zellmembranen müssten sich also, wenn sonst keine Veränderungen stattfänden, in Folge der Eisbildung um c. $^1/_{17}$ ihrer ursprünglichen Fläche oder um

---

*) Mousson (Poggendorff's Annal. Bd. 105 [1858] p. 161) beobachtete, dass Wasser in Röhren unter 0,7 m. m. im Durchmesser flüssig blieb, obschon das Thermometer im Beobachtungszimmer am Tage nie über — 2° C. stieg und in der Nacht auf — 5° bis — 7° C. sank. Es fand auch dann kein Gefrieren statt, wenn man die Röhren durch Stösse erschütterte.

Ebenso ergaben die Untersuchungen Dufour's (Pogg. Ann. Bd. 114. p. 530), dass Wasserkugeln (von mehreren M. M. Durchmesser), welche in einem specifisch gleich schweren Gemisch von Süssmandelöl und Chloroform frei schweben, bis zu 8 und 12° C. unter Null, kleinere sogar bis —20° flüssig bleiben. Erschütterungen sind auch hier ohne Einfluss; dagegen bewirkt die Berührung mit Eis oder die Durchleitung eines starken elektrischen Funkens augenblickliches Erstarren.

$^1/_{33}$ nach jeder Dimension ausdehnen. Allein es kommt hier noch ein physiologischer Factor in Betracht, welcher diese Schlussfolgerung modificirt. Die Zellen befinden sich nämlich, so lange sie leben, im Zustande der Turgescenz, und zwar erreicht dieselbe einen um so höheren Grad, je kräftiger sie vegetiren. Da nun die vegetativen Processe während der Abkühlung allmählich schwächer werden und endlich vollständig erlöschen, so ist es leicht möglich, dass die Membranen im turgescirenden Zustande ebenso stark oder selbst stärker ausgedehnt sind als im gefrorenen. Der umgekehrte Fall kann natürlich auch vorkommen, aber jedenfalls sinkt der Ueberschuss, welcher allfällig den gefrorenen Zellen im Vergleich mit den turgescirenden noch zukommt, auf eine so geringe Grösse herunter, dass ein Zerreissen der Membran in Folge der Eisbildung undenkbar ist.

Die directen Beobachtungen, welche auf diese Punkte Bezug haben, führen zu den nämlichen Ergebnissen. Blattstiele verschiedener Pflanzen waren nach Messungen von Sachs im gefrorenen Zustande um c. 1 — 3 Procent kürzer als im turgescirenden; grössere Stücke von Rüben und Kürbisfleisch zeigten dagegen nach dem nämlichen Beobachter so gut wie keine Veränderung. Der dritte mögliche Fall ist zwar bis jetzt nicht beobachtet; es ist jedoch wahrscheinlich, dass sich unter einer grösseren Zahl von Pflanzen auch solche finden würden, die sich beim Gefrieren etwas ausdehnen, namentlich wenn sie vorher bei niederer Temperatur vegetirten.

Zur Bildung von Rissen fehlt unter diesen Umständen jede Veranlassung. Die Beobachter sind auch einig darin, dass die stärksten Vergrösserungen keine Spur davon wahrnehmen lassen, und durch die diosmotischen Erscheinungen, welche man an gefrorenen und wieder aufgethauten Algenfäden beobachtet, wird überdiess der strenge Beweis geliefert, dass wenigstens hier ein Zerreissen der Zellen nicht stattfindet. Dieselben werden nämlich durch Glycerin oder eine concentrirte Zuckerlösung genau in derselben Weise zusammengedrückt und gefaltet, wie es an der lebenden Pflanze geschieht und wie es überhaupt nur bei vollständig unverletzten Blasen möglich ist. *)

3. Veränderung der Zellhäute beim Aufthauen

Es ist eine durch zahlreiche Versuche festgestellte Thatsache, dass die verderblichen Wirkungen des Frostes auf das Zellenleben nicht durch das Gefrieren an und für sich, sondern durch zu rasches 416

*) Vgl. Nägeli: Sitzgsber. der k. Akad. der Wiss. in München 1861. p. 268.

Aufthauen verursacht werden. Die empfindlichsten Blätter behalten ihre volle Frische, wenn man sie mit einer grossen Wassermenge, z. B. einem Liter, zu einem einzigen Eisklumpen erstarren und sodann in einer Luft von c. 4 — 5° R. langsam aufthauen lässt. Bringt man dagegen gefrorene Pflanzentheile in warme Luft oder in Wasser von 10 — 20° und darüber, so treten fast augenblicklich die Veränderungen ein, welche den Tod durch »Erfrieren« bezeichnen.

Diese Veränderungen bestehen, soweit sie äusserlich bemerkbar sind: *a*) im Verluste der Turgescenz und der damit verbundenen Straffheit und Elasticität, *b*) in der Aenderung der Farbe und Durchsichtigkeit in Folge der Infiltration der luftführenden Räume. Ein erfrorenes Gewebe ist schlaff und unelastisch; es lässt den wässerigen Zellsaft schon bei geringem Druck in Masse auslaufen, und durch starkes Pressen mit den Händen ist es möglich, die Flüssigkeit in dem Grade zu verdrängen, dass man zuletzt nur eine zähe, ziemlich trockene Masse übrig behält. Flüssigkeiten, welche im lebenskräftigen Gewebe in den Zellen zurückgehalten werden, wie Anthocyan, Gerbstoff u. dgl., diosmiren im erfrorenen von Zelle zu Zelle und in das umgebende Wasser, und genauere Beobachtungen zeigen, dass die diosmotischen Eigenschaften überhaupt wesentlich verändert sind.

417 Es bedarf nun keiner Erörterung, dass solche Erscheinungen eine tief eingreifende Veränderung der molecularen Kräfte voraussetzen; allein es ist schwer, über die Natur derselben eine bestimmte Vorstellung zu gewinnen, welche etwas mehr als eine blosse Hypothese wäre.

Sachs betrachtet die genannten Vorgänge einfach als Folgen erhöhter Permeabilität der Zellhäute und lässt die letztere bedingt sein durch die Vergrösserung der Molecularinterstitien. Er stützt sich hiebei einerseits auf die von Brücke, Ludwig und Fick ausgebildete Theorie der Diffusion, wonach die molecularen Poren einer Haut um so grösser sein müssen, je mehr Salz bei der Diffusion hindurchströmt, und andererseits auf die Beobachtung, dass erfrorene Gewebe in gleichen Zeiten ungleich grössere Mengen von Salz aufnehmen als frische. Die Verkettung von Ursachen und Wirkungen wäre hienach folgende. Die plötzlich gesteigerte Permeabilität bedingt sofort eine entsprechende Wasserabgabe, die negative Spannung der Membran nimmt in Folge dessen ab oder sinkt auf Null, der hydrostatische Druck des Zellsaftes wird dem äussern Luftdruck gleich, die Turgescenz hört auf etc.

Die Annahme einer Vergrösserung der Poren motivirt Sachs *) durch die Vergleichung mit gefrorenem und wieder aufgethautem Stärkekleister oder geronnenem Hühnereiweiss, welche beide im aufgethauten Zustande eine grobporige schwammige Substanz darstellen, aus welcher man mit leichtem Druck Wasser auspressen kann. Um diese Veränderungen zu erklären, nimmt er an, die Substanzatome (Eiweiss oder Stärke) ziehen sich nach dem Gefrieren stärker an und bilden so ein bloss aus Eiweiss oder bloss aus Stärke bestehendes Netzwerk, in dessen Maschen das frei gewordene Wasser abgeschieden werde. Nichts hindere uns, die so gewonnene Anschauung auf die Zelle zu übertragen. — Hiezu kann bemerkt werden, dass es nicht nöthig wäre, eine unmittelbare Berührung der Eiweiss- oder Stärketheilchen anzunehmen; es würde genügen, dass die Wasserhüllen durch das Gefrieren sich beträchtlich verkleinerten und dass die Molecüle ihre Lagerung soweit veränderten, um grössere Lücken zwischen sich zu lassen.

Aber gegen die ganze Theorie ist die Einwendung zu machen, dass die durch den Frost bewirkten molecularen Vorgänge im Eiweiss und Stärkekleister offenbar verschieden sind von denen in den Zellmembranen. Im Eiweiss und im Stärkekleister werden die Veränderungen durch das Gefrieren selbst herbeigeführt, was wir uns ohne Zweifel so vorstellen müssen, dass das Imbibitionswasser kleine Eiskrystalle bildet, wodurch die Substanztheilchen eine dauernde Verschiebung erfahren und in einen andern Gleichgewichtszustand zu den Wassertheilchen treten. Die Hypothese, dass die Substanztheilchen dabei sich netzförmig anordnen, ist nicht wohl mit der Bildung von Eisnadeln zu vereinigen; diese Ursache dürfte wohl eher unregelmässige Anhäufungen derselben bewirken.

In der Zellmembran dagegen hat das Gefrieren selbst noch keine dauernde Veränderung zur Folge, denn bei langsamem Aufthauen der Zellen behält die Membran ihre frühern Eigenschaften. Diese Thatsache, in Verbindung mit der früher erwähnten, dass Wasser in feiner Vertheilung sehr schwer in Eis übergeht, macht es überhaupt unwahrscheinlich, dass das Imbibitionswasser der Zellwandungen gefriere. Die moleculare Umlagerung der Membrantheilchen in erfrorenen Zellen, soweit eine solche überhaupt vorkommt, dürfte daher wahrscheinlich durch den absterbenden Zelleninhalt verursacht werden. Sie ist ohne Zweifel die gleiche wie in allen krankhaft verän-

*) Handb. d. Experimentalphysiologie p. 60.

derten und absterbenden Zellen, und zu einer bestimmten Vorstellung über die molecularen Vorgänge dürfte zur Zeit wohl noch kaum genügendes thatsächliches Material vorliegen.

4. Einfluss der Temperatur auf die Vegetationsprocesse.

418 Die Bestimmung des Einflusses, den die Temperaturunterschiede innerhalb der Grenzwerthe, zwischen welchen überhaupt das vegetabilische Leben möglich ist, auf den Verlauf der verschiedenen Lebensprocesse (Assimilation, Stoffwechsel, Zellbildung etc.) ausüben, ist für die Experimentalphysiologie, wenn die Aufgabe in wahrhaft wissenschaftlichem Sinne aufgefasst wird *), mit grossen Schwierigkeiten verbunden, welche auch dem Antheil, der der mikroskopischen Beobachtung zufällt, keineswegs fehlen.

Handelt es sich z. B. um die Beobachtung des Wachsthums (Zellenausdehnung und Zellentheilung) mikroskopischer Objecte bei möglichst constanten Temperaturen, so begegnet man den bis jetzt nicht überwundenen Schwierigkeiten der Cultur. Sowohl die Süsswasseralgen (Spirogyren, Cladophoren etc.) als diejenigen des Meeres zeigen eine so grosse Empfindlichkeit gegen Veränderungen ihres Mediums, dass es bis jetzt nicht geglückt ist, sie längere Zeit in normaler Vegetation zu erhalten, geschweige denn dasselbe Exemplar in einem geeigneten Apparat einige Tage oder Wochen bei 10°, dann bei 15°, dann bei 20° u. s. w. zu beobachten, wie es doch zur Erreichung des beabsichtigten Zweckes nothwendig wäre. Die fraglichen Processe lassen sich also nicht verfolgen.

Was bis jetzt in dieser Richtung geschehen ist und geschehen konnte, beschränkt sich auf Beobachtungen über die Geschwindigkeit der Zellsaftbewegungen bei Nitella, Vallisneria, in den Staubfädenhaaren von Tradescantia etc., — Erscheinungen, die zwar mit der Lebensthätigkeit im Allgemeinen in einem unverkennbaren Zusammenhang stehen, ohne jedoch einen Maassstab für bestimmte Processe darzubieten. **)

---

*) Wir theilen vollständig die Ansicht von Sachs, dass die bezeichnete Aufgabe ihrer Lösung nicht um einen Schritt näher gebracht wird, wenn man sich damit begnügt, die Zeiträume zwischen Aussaat und Reife einer Pflanze bei gegebenen Mitteltemperaturen zu verzeichnen und die so erhaltenen Daten nach irgend einer willkürlich gewählten Formel in Rechnung zu bringen.

**) Die Geschwindigkeit der Plasmaströme steigt durchgehends bis zu einer Temperatur von 37 – 40° C., nimmt sodann bei steigender Temperatur wieder ab oder wird auch plötzlich Null. Vgl. Nägeli, Beiträge II. p. 77; Max Schultze,

Bei Untersuchungen über die Abhängigkeit des Wachsthums von der Temperatur bei höheren Pflanzen kann das Mikroskop zur Unterscheidung der Zellenbildung von der Zellenstreckung Anwendung finden, in der Art, dass man Zahl und Länge der Zellen für die verschiedenen Regionen nach mittleren Werthen bestimmt. Eine nähere Darlegung dieses Verfahrens ist überflüssig.

V.

Elektricität.

Die Wirkungen der Elektricität auf den Zellinhalt haben in den 419
letzten Jahren, besonders mit Rücksicht auf die Plasmabewegungen, eine vielseitige Beachtung gefunden, und es lässt sich voraussehen, dass sie in Zukunft einen wichtigen Abschnitt der Experimentalphysiologie bilden werden.*) Sind auch die Folgerungen, die man aus den bis jetzt beobachteten Thatsachen gezogen hat, zum Theil mindestens gewagt, ja nach unserem Dafürhalten gänzlich ungerechtfertigt, so zweifeln wir desshalb doch nicht, dass das fortgesetzte Studium des Einflusses, welchen galvanische Ströme auf die Plasmabewegungen und auf das Zellenleben überhaupt ausüben, manche wichtigen Aufschlüsse über die Natur der im Organismus wirksamen Kräfte bieten wird. Wir glauben daher die Vorrichtungen, deren sich neuere Forscher für mikroskopische Untersuchungen dieser Art bedient haben, hier speciell erwähnen zu sollen; allfällige Abweichungen der Construction, die dem bestimmten Zwecke, den man

---

Das Protoplasma der Rhizopoden etc. p. 46; J. Sachs, Experimentalphysiologie der Pflanzen p. 71.

*) Neuere Beobachtungen über den bezeichneten Gegenstand findet man in folgenden Schriften und Abhandlungen:

Th. Jürgensen (Studien des physiologischen Instituts zu Breslau 1861. II.)

F. Cohn: Contractile Gewebe im Pflanzenreiche (Jahresber. d. Schles. Gesellsch. f. vaterl. Cultur 1861. I.).

Brücke: Das Verhalten der sogenannten Protoplasmaströme u. s. w. (Sitzungsber. der kais. Akad. d. Wiss. Wien 1862. Bd. 46. 2. Abth.)

Heidenhain (Studien des physiol. Instit. zu Breslau 1863. II.).

Max Schultze: Das Protoplasma der Rhizopoden u. s. w. 1863.

W. Kühne: Unters. über das Protoplasma u. die Contractilität. 1864.

Vgl. ferner G. Quincke: Ueber die Fortführung materieller Theilchen durch strömende Elektricität (Pogg. Ann. Bd. 113 [1861] p. 513).

gerade im Auge hat, noch besser entsprechen, wird sich alsdann der Beobachter leicht selbst ausdenken.

Was zunächst die Elektricitätsquelle betrifft, so ist eine kleine Rotationsmaschine oder ein Inductionsapparat, der von 1—2 kleinen Elementen getrieben wird, in der Regel vollkommen ausreichend. Derselbe soll indess nicht bloss eine beliebige Abschwächung der Stromstärke gestatten, sondern auch mit einer Vorrichtung versehen sein, welche den durch Oeffnen und Schliessen des Hauptstroms erzeugten Inductionsströmen die nämliche Richtung gibt. Wie diess zu erreichen ist, darf wohl als bekannt vorausgesetzt werden, da hierüber jedes physikalische Lehrbuch hinlängliche Auskunft gibt.

420 Um nun zweitens den elektrischen Strom durch ein unter dem Mikroskop befindliches Object zu leiten, so hat man zu diesem Behufe verschiedene Einrichtungen vorgeschlagen, von denen wir folgende hervorheben. Harting (Mikr. p. 428) empfiehlt einen Objectträger, wie er in Fig. 208 abgebildet ist. Die Herstellung des-

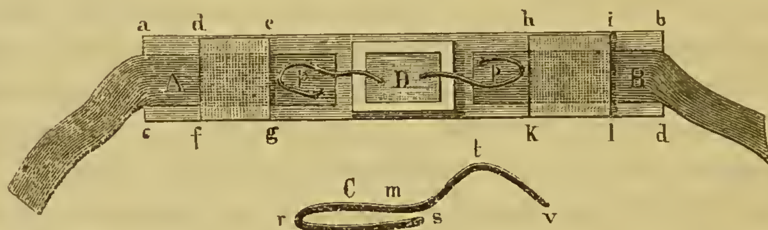


Fig. 208.

selben ist ungemein einfach. Zwei Stanniolstreifen *A* und *B*, die etwas schmäler sind als die Glasplatte *abcd*, werden mit Stärkekleister so auf dieselbe geklebt, dass ein Theil des Stanniols an beiden Enden frei überragt und ein Raum von 25—30 m.m. dazwischen übrig bleibt. Zur Isolirung von der Klemmfeder des Objecttisches, welche das Ganze zu halten bestimmt ist, legt man sodann zwei Glasplättchen *defg* und *hikl* auf die betreffenden Stellen und befestigt dieselben mittelst einer Mischung von Pech und Harz oder auch mit Guttaperchaleim oder Seeleim. Die Poldrähte *p* und *p* bestehen aus geglühtem Kupferdraht oder noch besser aus Platindraht, der wie bei *C* gebogen und dann bloss aufgelegt, nicht befestigt wird. Der Theil *rms* kommt hiebei auf den Stanniol, der andere in einer senkrechten Ebene gebogene mit seiner Spitze *v* in die Beobachtungsflüssigkeit zu liegen. Nöthigenfalls bringt man das Object in einen kleinen Glas- oder Guttaperchatrog und taucht die Pole in das Was-

ser, womit derselbe gefüllt ist. Die frei herabhängenden Enden der Stanniolstreifen dienen zur Verbindung mit den Leitungsdrähten des galvanischen Apparates.

Kühne bediente sich bei seinen »Untersuchungen über das Protoplasma und die Contractilität« eines Elektrodenpaars, wie es in Fig. 209 dargestellt ist. Zwei in der angedeuteten Art zugeschnittene Stücke von Platinblech wurden mittelst Siegellack auf die Glasplatte befestigt und hierauf die schmalen mittleren Streifen, auf welche das Object zu liegen kam, von beiden Seiten her bis auf ein kleines Stück von 1—2 m. m. Breite mit einem isolirenden Firniss

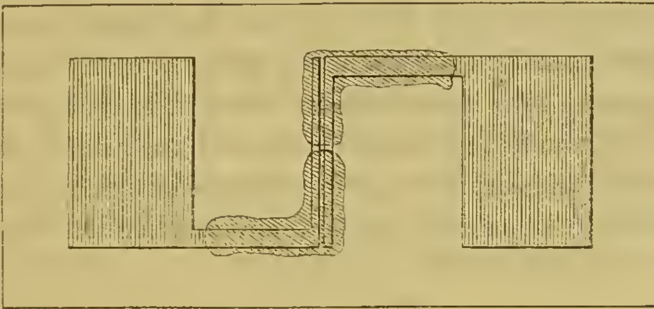


Fig. 209.

überzogen, wozu sich z. B. eine Auflösung von Dammarharz in Chloroform ganz gut eignet. Die breiten Theile der Elektroden wurden beim Gebrauche mit kleinen, an der unteren Fläche jedesmal blank geriebenen Bleiklötzen beschwert und durch diese mit den Enden der secundären Rolle des Inductionsapparates verbunden.

Um die Verschiebbarkeit des Objectträgers so bequem als möglich zu machen, empfiehlt Kühne, dünnen ausgeglühten Eisendraht, wie ihn die Chirurgen zum Nähen benutzen, an die Klötzchen zu schrauben. Solche Drähte folgen der Bewegung des Objectträgers, besonders wenn sie spiralig aufgerollt sind, so gut wie ein Faden.

Die Vorrichtung, deren wir uns bedienten, um die Wirkung des galvanischen Stromes auf Plasmabewegungen zu beobachten, bestand aus einem gewöhnlichen Objectträger mit Stanniolelektroden, die mittelst Stärkekleister aufgekittet und in der Mitte bis auf c. 2 m. m. genähert waren. Behufs Herstellung einer bequemen Verbindung mit den Leitungsdrähten des Inductionsapparates waren beiderseits kurze Messingdrähte, die an den Rändern etwas hervorragten und hier mit einem Hacken endigten, auf die Stanniolstreifen gelegt und zur Erzielung eines guten Contactes zwei bis drei andere Stanniolplättchen darüber geklebt; ausserdem waren die Drähte am Rande

mit Siegellack auf dem Objectträger befestigt. Eine theilweise Isolirung der Elektroden durch einen Firnissüberzug war überflüssig, da der Strom auch ohne dieses Mittel sich stark genug erwies.

421 Da es in der Praxis gewöhnlich darauf ankommt, den Moment zu beobachten, in welchem die Schliessung des galvanischen Stromes stattfindet, so muss dafür gesorgt sein, dass irgendwo in der Leitung die Herstellung und Unterbrechung des Contactes leicht und sicher bewerkstelligt werden kann, während das Auge ins Mikroskop sieht. Kühne ersetzte zu diesem Behufe den rasch arbeitenden Hammer des Inductionsapparates durch ein eingeschaltetes Quecksilbernäpfchen, in welches er nach Belieben mit der Hand den mit einem Hacken versehenen Leitungsdraht der Kette eintauchte. Dieses Verfahren ist gewiss ganz zweckmässig; wir haben aber nicht nöthig zu bemerken, dass man den nämlichen Zweck auch durch directes Andrücken des Leitungsdrahtes an die vorstehenden Schraubenköpfe der Inductionsspirale oder auch an den entsprechenden Pol der Kette in völlig befriedigender Weise erreicht.

422 Ueber die Art der Einwirkung galvanischer Ströme auf das Plasma und die verschiedenen Grade derselben theilen wir nachstehend einige Einzelnheiten mit, welche der Darstellung Brücke's*) nach Beobachtungen an den Brennhaaren der Nessel (Urtica urens) entnommen sind.

»Die erste Veränderung, die man (nach einer kurzen Reihe von Inductionsschlägen) wahrnimmt, besteht in der Regel in dem Erscheinen einer grösseren oder geringeren Menge von Fäden, welche vom Zellenleibe aus (d. h. vom wandständigen Plasma) in die Intercellularflüssigkeit hineinragen. Ich habe sie nicht immer, aber doch bei weitem in der Mehrzahl der Fälle gesehen, und da sie von wechselnder Dicke, oft äusserst dünn sind, so mögen sie sich wohl das eine oder das andere Mal der Beobachtung entzogen haben. Manchmal sieht man sie wie Raketen aus dem Zellenleibe hervorschiessen, sobald man den Kreis des Magnetelektromotors schliesst. Sie haben oft eine beträchtliche Länge; ich habe deren solche beobachtet, die im gestreckten Zustande bis zur Axe in das Innere des Haares hineinragten. An ihrem Ende tragen sie eine grössere oder kleinere Anschwellung, und man sieht sie in einer fortwährenden, bald schwä-

*) Sitzungsber. d. k. k. Akad. der Wiss. in Wien, Bd. 46. 2. Abth. p. 35.

cheren bald stärkeren, zitternden oder schlängelnden Bewegung begriffen. Bisweilen sieht man neben den Fäden auch stärkere kolben- oder keulenartige Gebilde hervortreten.«

»Hatte die Einwirkung der Ströme einen gewissen Grad nicht überstiegen, so kann hiebei das Fliessen der körnerreichen Flüssigkeit im Zellenleibe noch eine Weile fortdauern, ja es kommt häufig vor, dass die Fäden und Kolben wieder verschwinden und der normale Zustand, soweit die Anschauung darüber Aufschluss gibt, wieder hergestellt ist.«

»War die Einwirkung heftiger oder schliesst man den Kreis des Magnetelektromotors von neuem, so hört das Fliessen sofort auf und man sieht die Körnchen nur noch in einer unregelmässigen Bewegung, die ganz den Charakter der unter dem Namen der Molecularbewegung bekannten Erscheinung trägt.«

Weiter wird angegeben, dass in der bisher vollständig reinen und klaren Zellflüssigkeit Körnchen erscheinen, die zu kleinen Gruppen vereinigt Molecularbewegung zeigen, dass aber später auch diese Bewegung aufhöre, worauf der Zellenleib sich von der Wandung abzulösen und zu schrumpfen pflege.

Die Beobachtungen, die wir selbst an den Staubfädenhaaren von Tradescantia anstellten, ergaben etwas weniger auffallende Resultate. Dieselben stimmen übrigens mit den hierauf bezüglichen Angaben von Kühne überein. Die Wirkung des galvanischen Stromes beschränkt sich hier auf kugelige oder papillenförmige Auftreibungen der Plasmabänder, verbunden mit einer raschen Coagulation des Zellkerns und der Plasmasubstanz, und die erste Veränderung, die man beobachtet, ist das Aufhören der Körnchenbewegung. Ebenso tritt auch in den Rotationsströmen der Charen und Vallisnerien beim Schliessen der Kette augenblicklicher Stillstand ein, ohne dass zunächst irgend welche Veränderung im Inhalte bemerkbar wäre. Eine vorhergehende Verlangsamung der Bewegung, wie sie Jürgensen für Vallisneria beschreibt, haben wir nicht beobachtet; doch mag diess wohl in der mangelhaften Einrichtung zur Normirung des Stromes seinen Grund haben.

Sämmtliche Beobachter stimmen darin überein, dass eine Verschiedenheit der Wirkung eines constanten Stromes auf gleich gerichtete oder gegenläufige Plasmaströme nicht zu constatiren ist. Eine Umkehrung der Ströme, wie man sie vielleicht erwarten möchte, findet also auf keinen Fall statt. Dasselbe gilt von inducirten Strö-

men mit gleich gerichteten Inductionsschlägen. Die Veränderungen, welche die elektrischen Eingriffe hervorrufen, stimmen überhaupt, soweit die bisherigen Beobachtungen reichen, im Wesentlichen mit denjenigen überein, welche durch mechanische oder chemische Mittel, durch Wärme oder Kälte veranlasst werden. Es gehört immer ein gewisser Grad der Einwirkung dazu, um einen vorübergehenden Starrezustand, und eine etwas stärkere Einwirkung, um den Tod der Zelle herbeizuführen.

Neunter Abschnitt.

Mikrochemie.

Obschon die mikrochemische Untersuchung bloss in der Anwendung bekannter chemischer Verfahren auf mikroskopische Objecte besteht, so sind doch in manchen Fällen besondere Vorsichtsmaassregeln und Manipulationen erforderlich, die der Anfänger im Mikroskopiren erst lernen muss. Hiezu die nöthige Anleitung zu geben, ist der erste nächstliegende Zweck, den die folgenden Blätter erfüllen sollen. 423

Dazu kommt aber noch, dass manche schätzenswerthe Mittheilungen über chemische Reactionen und Prüfungsmethoden, darunter solche, die sich gerade auf die wichtigsten Producte des Lebensprocesses beziehen, in der Literatur zerstreut und daher weniger zugänglich sind. Diese Mittheilungen zu sammeln und zu sichten, soweit thunlich zu prüfen und hie und da auch zu vervollständigen, — das war eine weitere, wesentliche Aufgabe, die wir uns für diesen Abschnitt gestellt hatten.

I.

Allgemeine Regeln.

Es ist zunächst von Wichtigkeit, ein bestimmtes Reagens in allmählich steigender Concentration anwenden zu können, um die Wirkung desselben Stufe für Stufe zu verfolgen. Man erreicht nun zwar diesen Zweck annähernd schon durch einfachen Zusatz der Flüssigkeit am Rande des Deckgläschens, indem alsdann die Vermischung mit dem Präparatwasser, wenigstens in einiger Entfernung vom Rande, nur durch Diffusion und daher sehr langsam geschieht; allein die so erzielten Uebergänge der Einwirkung sind gleichwohl nicht immer so stetig, wie es wünschenswerth wäre, und da gerade hievon nicht selten die Zuverlässigkeit der Beobachtungen abhängt, so ist es unter 424

Umständen wichtig, auch feinere Verfahren zu kennen, welche die Langsamkeit der Einwirkung noch zu steigern gestatten. Als solche sind zu empfehlen:

1) Man bringt unter das Deckgläschen einen feinen baumwollenen oder leinenen Faden, dessen eines Ende unter dem Rande desselben hervorsteht, und tränkt nun dieses hervorstehende Ende mit einem Tropfen des Reagens. Das letztere fliesst alsdann durch den Faden unter das Deckgläschen und mischt sich dort mit der Beobachtungsflüssigkeit.

2) Steht das Reagens auch im ungelösten Zustande zu Gebote, so werden kleine Splitter desselben direct in die Beobachtungsflüssigkeit gelegt. Die gelösten Theile verbreiten sich alsdann ganz allmählich in der Umgebung der Splitter. Für die Iodreaction ist dieses Verfahren sehr zu empfehlen.

3) Ein Tropfen der sehr verdünnten Lösung, die an den darin vertheilten Objecten noch keine Veränderung hervorruft, wird auf dem Objectträger (ohne Deckgläschen) der Verdunstung überlassen. Da die letztere am Rande des Tropfens schon der Krümmung der Oberfläche wegen am raschesten erfolgt, d. h. für die Einheit der Grundfläche am grössten ist, so steigt hier auch die Concentration rascher als in der Mitte.*) Dieses Verhalten macht es möglich, dieselbe Veränderung wiederholt auf dem nämlichen Präparat zu beobachten und die verschiedenen Stadien der Einwirkung sowohl nach einander in beliebiger Langsamkeit, als neben einander in den schönsten Uebergängen hervorzurufen. — Selbstverständlich ist jedoch eine solche Steigerung der Concentration nur denkbar, wenn in einer leichter verdunstenden Flüssigkeit eine schwerer verdunstende oder fixe Substanz gelöst ist, was übrigens der gewöhnliche Fall ist.

425 Ein zweiter Punkt betrifft die Herstellung eines mehr oder weniger raschen Stromes in der Beobachtungsflüssigkeit, wie er z. B. beim Auswaschen der Präparate ohne Wegnahme des Deckgläschens nothwendig ist. Bei dickeren Objecten, die einen beträchtlichen Abstand zwischen Objectträger und Deckplättchen bedingen, erreicht man den beabsichtigten Zweck einfach durch Neigung der Objectplatte und Zusatz von Flüssigkeit an dem nach oben gekehrten Rande des Deckgläschens, indem hiebei eine entsprechende Menge am unteren Rande abfliesst. Bei kleinen Objecten und geringem Abstand der Glastafeln, wo die grössere Reibung durch die Schwere des Was-

*) Vgl. pag. 379.

sers nur langsam überwunden wird, zieht man die Beobachtungsflüssigkeit am besten mit Fliesspapier aus, das man an einem Rande des Deckgläschens mit derselben in Berührung bringt, während man auf der andern Seite das betreffende Reagens oder das Auswaschwasser zusetzt.

Handelt es sich darum, einen langsamen Strom von Wasser längere Zeit zu unterhalten, so vermittelt man die Zufuhr durch einen Baumwollenfaden, welcher einerseits mit der Beobachtungsflüssigkeit und andererseits mit einer grösseren Wassermenge in Verbindung steht, deren Oberfläche jedoch im Niveau des Objectes oder höher liegen muss. Ein zweiter Baumwollfaden wird zum Behuf eines rascheren Wechsels an den anderen Rand des Deckgläschens gebracht und dessen herabhängendes Ende so gewählt, dass die durch ihn bewirkte Verdunstung der Zufuhr ungefähr das Gleichgewicht hält und so ein Ueberfliessen des Wassers auf den Objecttisch verhindert. Auf diese Weise wird es möglich, Algenfäden, die unter dem Mikroskop liegen, längere Zeit lebend zu erhalten und ihre Entwicklung zu verfolgen.

Will man die Einwirkung einer höheren Temperatur auf die **426**
Objecte untersuchen, so genügt in der Regel das directe Erwärmen des Objectträgers über der (neben dem Mikroskop aufgestellten) Weingeistlampe. Man lässt die Flamme, je nachdem man eine gleichmässige Erwärmung oder aber eine stetige Abnahme der Einwirkung von einer Stelle des Präparats zur andern beabsichtigt, über die ganze Fläche oder nur auf den Rand desselben spielen, so dass in diesem letzteren Falle der gegenüber liegende Rand die geringste Einwirkung erfährt. Die Wärmequelle unter dem Objecttisch anzubringen, wie diess Harting u. A. empfehlen, finden wir im Allgemeinen weniger rathsam und überhaupt nur in seltenen Fällen wünschenswerth; denn abgesehen davon, dass man bei Anwendung von Reagentien, deren Dämpfe das Flintglas angreifen, das Objectiv durch eine besondere, unten mit einer Glasplatte versehene Hülse oder doch mindestens durch ein grosses Deckplättchen schützen muss, ist damit für die Beobachtung gewöhnlich nicht viel gewonnen, da die in der Flüssigkeit stattfindenden Strömungen eine ununterbrochene Bewegung der Objecte verursachen.

Dagegen kann es für gewisse Untersuchungen von Wichtigkeit sein, das Präparat längere Zeit in einer constanten Temperatur über oder unter Null zu erhalten, was sich je nach den speciellen Anforderungen,

die man stellt, in verschiedener Weise ausführen lässt. Soll die Temperatur, der das Object ausgesetzt ist, möglichst genau bekannt sein, so dürfte ein Apparat, wie er in Fig. 210, III dargestellt ist, sich be-

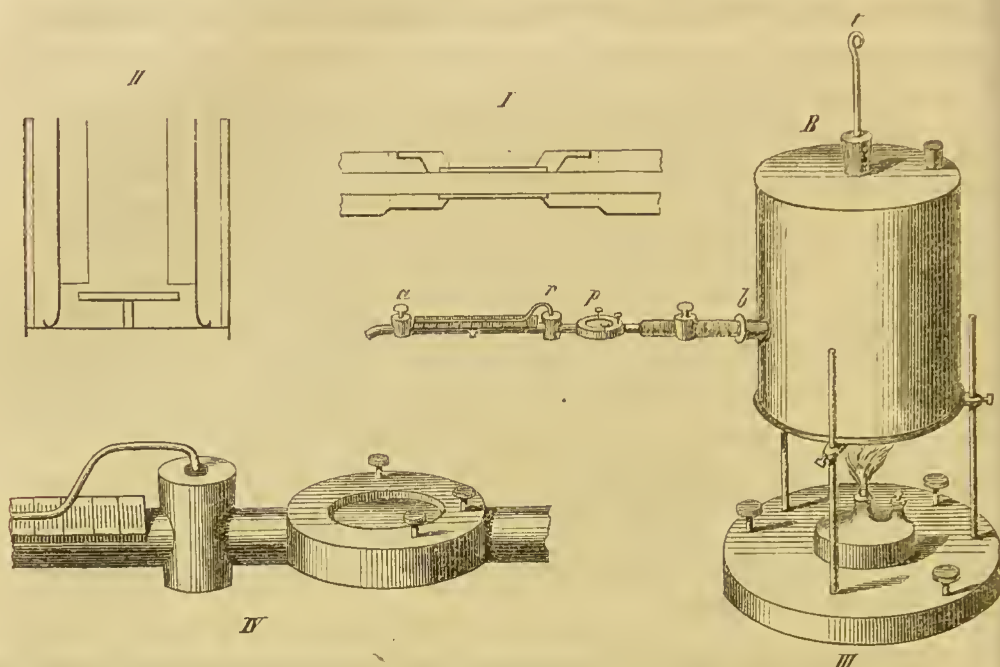


Fig. 210.

sonders empfehlen. Nägeli benutzte denselben, um die Geschwindigkeit der Saftströmung in den Zellen der Charen bei verschiedenen Temperaturen zu beobachten. Das Object wurde in der Mitte der Röhre *ab* in einer scheibenförmigen Erweiterung *p*, die nach oben und unten durch parallele Glasplatten abgeschlossen war, befestigt und das Mikroskop (nöthigenfalls mit einem Untersatz versehen) darauf eingestellt. Durch die Röhre wurde ein langsamer, durch den Hahn bei *a* beliebig zu regelnder Strom von Wasser geführt, das im Behälter *B* nach Belieben erwärmt oder durch eingelegtes Eis unter die Zimmertemperatur abgekühlt werden konnte. Zur Bestimmung der Temperatur dienten zwei Thermometer, wovon das eine (*t*) im Behälter bis zur Oeffnung der Ausflussröhre eingesenkt, das andere am Ende der Röhre horizontal angebracht und mit seiner Kugel bei *r* in das Lumen derselben eingekittet war. Die Wärmedifferenzen, welche die beiden Thermometer anzeigten, waren übrigens nicht bedeutend; sie erreichten bei sehr langsamer Strömung 1 Grad, bei etwas rascherer, je nach der Zimmertemperatur, $^1/_3$ bis $^1/_2$ Grad. *)

*) Für Diejenigen, welche vielleicht einen ähnlichen Apparat zu construiren beabsichtigen, fügen wir noch des Näheren bei, dass zum Einlegen des Eises ein

Will man kleinere Objecte, wie z. B. Diatomeen, Desmidiaceen u. dgl. beobachten, so können dieselben zwischen zwei Deckplättchen, die man mit Wachs befestigt, oder in einem verschlossenen Glastrog von geringer Tiefe in die Röhre gebracht werden.

Eine andere Vorrichtung, welche zwar viel einfacher und mit geringeren Kosten herstellbar ist, dafür aber an Genauigkeit der eben 427
beschriebenen nachsteht, wurde von Thomé (Bot. Ztg. 1865. p. 107) vorgeschlagen und durch eine Zeichnung veranschaulicht. Derselbe bedient sich eines erwärmbaren Objecttisches, welcher mit drei Metallspitzen auf dem Tisch des Mikroskopes ruht und beiderseits etwa 2 Zoll über denselben hervorragt. Zum Festhalten dienen gewöhnliche Federn, welche durch übereinander liegende Oeffnungen der beiden Tische gesteckt werden. Der auf der rechten Seite hervorragende Theil wird durch eine untergestellte Weingeistlampe erhitzt; auf der linken Seite befindet sich ein Thermometer, dessen Kugel in einer aufgesetzten Metallhülse ruht.

Vor der Anwendung des erwärmbaren Tisches wird durch vorläufige Versuche die wahre Wärme derjenigen Stelle bestimmt, auf welcher das Präparat liegt. Zu diesem Behufe legt man auf die Lichtöffnung einen Objectträger, misst dessen Wärme durch ein feines Thermometer und bestimmt durch öftere Versuche oder durch Interpolation ein für allemal die Differenzen beider Thermometer für verschiedene Wärmegrade. Näheres über die Art, wie das feine Thermometer anzubringen sei und wie genau dasselbe in irgend einem bestimmten Falle die wahre Temperatur des Präparats angebe, ist nicht mitgetheilt.

Weit zweckmässiger eingerichtet ist jedenfalls der auf demselben 428
Princip beruhende heizbare Objecttisch von M. Schultze.*) Da

hohlcylindrisches Gefäss (s. Fig. 210, II Durchschnittsansicht des Behälters) diente, welches mit einem entsprechenden Einschnitt zur Aufnahme der bis zum Centrum vordringenden Röhre versehen war. Ferner wurde eine möglichst gleichmässige Wärmevertheilung beim Erhitzen dadurch erzielt, dass etwa 1 Zoll über dem Boden des Wasserbehälters eine kreisförmige Scheibe angebracht war, welche die erwärmten Wassertheile zunächst nach der Peripherie hin leitete. Die Wand des Behälters war überdiess doppelt, um eine zu rasche Abkühlung zu vermeiden. — Das Gefäss, in welches das Object zu liegen kam (Fig. 210, III *p*, I, IV), konnte nach oben geöffnet und wieder wasserdicht verschlossen werden. Die obere Glasplatte war nämlich mit einer Fassung von Messing versehen, welche nach Art eines Deckels eingepasst und mittelst Schrauben zu befestigen war. Der Zwischenraum zwischen den beiden Glasplatten mochte etwas weniger als eine Linie betragen.

*) M. Schultze, Archiv für mikroskopische Anatomie I (1865), 1. Heft.

derselbe in den meisten Fällen, so oft nämlich Fehler in der Temperaturbestimmung von c. 2° C. nicht in Betracht kommen, vollständig genügen dürfte, so geben wir nachstehend die ausführliche Beschreibung desselben, wie sie vom Erfinder a. a. O. mitgetheilt wurde.

»Der heizbare Objecttisch, welchen ich von dem Mechaniker Herrn Geissler hierselbst anfertigen liess, und welcher sich als ein sehr wichtiges Hülfsmittel bei vielen Untersuchungen bewährt hat, ist dazu bestimmt, auf den gewöhnlichen Objecttisch eines Mikroskopes aufgesetzt zu werden, den er etwa um 1 Centimeter erhöht (s. Fig. 211, wo derselbe von unten in ⅓ natürlicher Grösse abgebildet ist). Derselbe besteht aus einer ungefähr hufeisenförmigen

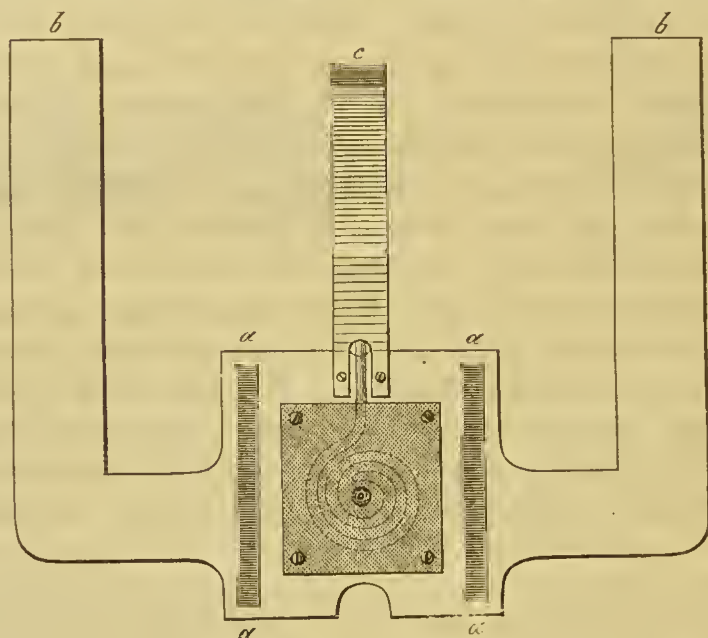


Fig. 211.

Messingplatte von 1—2 m. m. Dicke. Der mittlere Theil hat die Ausdehnung und Form eines recht grossen gewöhnlichen Objecttisches und verlängert sich nach beiden Seiten in 3 Centimeter breite Arme, welche nach kurzem Verlaufe in rechtem Winkel nach vorn umbiegen und von da an noch eine Länge von 17—20 C. M. besitzen. Unter ihnen brennen behufs der Erwärmung des Objecttisches Spirituslampen. Die Länge der Arme ist so gewählt, dass bei Erhitzung ihrer Enden durch kleine Flammen die Mitte des Objecttisches ungefähr Körperwärme, also 35—40° C. annimmt. Diese Mitte ist von kleiner Blendungsöffnung durchbohrt, welche bei der Befestigung des heizbaren Objecttisches jedesmal genau zu centriren ist.

An die untere Seite des Tisches sind seitlich zwei von vorn nach hinten laufende viereckig prismatische Holzleisten (*aa*) befestigt, mittelst deren er auf dem eigentlichen Objecttisch des Mikroskopes ruht und durch welche eine Mittheilung der Wärme an letzteren, zugleich eine Berührung des in der Mitte unter dem Tisch angebrachten Thermometerkastens mit dem untern Objecttisch verhindert wird. Das Thermometer besteht aus einem spiralgewundenen, die Blendungsöffnung umkreisenden Quecksilberbehälter von zwei vollständigen Spiraltouren, aus welchem sich die Thermometerröhre nach vorn erhebt, um an eine aus starkem Messing gearbeitete durch Schrauben an den Tisch befestigte Scala (*c*) zu gelangen, deren vorderer Seite sie anliegt. Die Scala steht schief nach vorn und aufwärts, so dass der Stand des Quecksilbers während der mikroskopischen Beobachtungen leicht abgelesen werden kann, und ist in ganze Grade nach Celsius getheilt. Die Quecksilberspirale muss der unteren Fläche des messingenen Tisches womöglich mit einer abgeplatteten Fläche genau anliegen, um deren Temperatur schnell aufzunehmen, und ist in einen niedrigen Kasten von Messingblech eingeschlossen, welcher eine Verletzung derselben hindert, vor Abkühlung bewahrt, und indem er die Temperatur des Objecttisches annimmt, das Thermometer auch von unten her erwärmt. In die Mitte des Kästchens ist eine conisch ausgedrehte, innen geschwärzte Blendung eingesetzt, etwa von den Dimensionen der Hartnack'schen Cylinderblendungen.«

Die Befestigung des heizbaren Tisches kann entweder durch Zapfen, welche in Vertiefungen des Objecttisches, natürlich unter Berücksichtigung der Centrirung, eingepasst sind, oder auch durch Klemmschrauben, wie sie Herr Geissler dem Apparat beigiebt, geschehen. Die Entfernung der Holzleisten *aa*, welche in dem abgebildeten Apparat c. 6 C. M. beträgt, richtet sich natürlich, weil dieselben dem Objecttisch aufliegen müssen, nach den Dimensionen des letzteren.

Zur Vermeidung der Unbequemlichkeiten, welche die raschere Verdunstung der Flüssigkeit bei erhöhter Temperatur mit sich bringt, bediente sich Schultze der von Recklinghausen*) empfohlenen feuchten Kammer. Dieselbe besteht aus dem abgesprengten unteren Stück eines Lampencylinders, dessen glatt polirter Rand auf der (hinreichend gross zu wählenden) Objectplatte ruht, indess der obere engere Theil sich möglichst genau dem Tubus des Mikroskops anschliesst, ohne jedoch den auf- und absteigenden Bewegungen des

*) Virchow's Archiv etc. Bd. XXVIII, 1863, p. 162.

letzteren hinderlich zu sein. Ein Streifen feuchten Fliesspapiers, den er auf die innere Fläche des Lampencylinders aufklebte, lieferte den zur Feuchthaltung der Kammer nöthigen Wasserdunst.

Zur Prüfung der Frage, ob die an der Scala abgelesene Temperatur derjenigen des Objectes entspreche, empfiehlt sich die Beobachtung des Schmelzpunktes von Fetten, von denen man im flüssigen Zustande ein mikroskopisches Präparat anfertigt, nachdem man vorher den Schmelzpunkt auf andere Weise genau geprüft hat. Nach Schultze, welcher diese Prüfung mit einer Anzahl von Geissler gefertigter Apparate vornahm, gaben dieselben die gewünschte Temperatur bis auf c. 2 ° C. genau an.

Wir bemerken noch, dass Geissler bereits geprüfte Apparate vorräthig hält und zu 10 Thlr. abliefert.

429 Um bei der Anwendung von Lösungsmitteln nicht irre geführt zu werden, thut man am besten, das zu untersuchende Object möglichst zu isoliren. Es kommt nämlich öfters vor, dass Bildungen, die in ziemlich dickwandigen Zellen enthalten sind, sich äusserst langsam auflösen oder sogar unlöslich zu sein scheinen, während sie nach dem Zerreissen der Zellen, wenn das Reagens unmittelbar auf sie einwirkt, sogleich verschwinden. Wo ein Freipräpariren des Objectes nicht wohl möglich ist, bedarf es einer längeren Einwirkung des Lösungsmittels, oft sogar einer wiederholten Erwärmung über der Weingeistflamme, um über die Löslichkeit oder Unlöslichkeit der Substanz ganz sicher zu sein.

II.

Aufzählung der Reagentien.

430 Wir gehen nun zur Aufzählung der Reagentien über, die man bei botanischen Untersuchungen zu verwenden pflegt, wobei wir zugleich die Wirkung derselben kurz andeuten und, wo es nöthig ist, auch über die Bereitung und die beim Gebrauche erforderliche Vorsicht einiges Nähere beifügen.

1) Aetzkali. Wird in verdünnter Lösung zunächst dazu verwendet, die Gewebe durchsichtiger zu machen, wozu in manchen Fällen eine äusserst starke Verdünnung und kurze Dauer der Einwirkung, in andern eine etwas stärkere Concentration, verbunden mit Erwärmung, nothwendig ist. Welche Art der Behandlung am günstigsten wirkt, muss durch den Versuch ermittelt werden. Man setzt

zuerst eine ganz schwache Lösung zu, dann eine stärkere u. s. f., erwärmt zuerst nur wenig, dann mehr, bis der gewünschte Effect eintritt. Gewisse Gewebe werden indess mit Kali niemals durchsichtig, sondern färben sich dunkel, oft tief rothbraun, so dass man zu andern Reagentien seine Zuflucht nehmen muss. Manche Gewebe werden nur auf eine kurze Zeit hell und nachher dunkel.

Das Kali verursacht eine mehr oder weniger starke Quellung der Zellmembranen und Stärkekörner, löst Fette (durch Verseifung), Proteinverbindungen etc. Vermöge dieser Eigenschaften dient es zur »Purificirung incrustirter Membranen«, wie z. B. des Korkes. Der letztere färbt sich nach längerem Erhitzen in Kali auf Zusatz von Iod und Schwefelsäure blau.

Die Aufbewahrung des Kali in gelöster Form bringt den Uebelstand mit sich, dass der Glaspfropfen, wenn er gut eingeschliffen ist, bei längerem Nichtgebrauch in Folge der Bildung eines Silicates fest mit der Flasche verwächst, der Korkpfropfen aber zerfressen wird, indess ein schlechter Verschluss die Aufnahme von Kohlensäure aus der Luft ermöglicht. Andererseits ist die Aufbewahrung des Kali in Pulver- oder Stäbchenform und die jedesmalige Bereitung der Lösung viel umständlicher und schon desswegen für die gewöhnlichen Fälle unpraktisch. Wir haben bis jetzt der Lösung, trotz der erwähnten Nachtheile, immer den Vorzug gegeben.

2) Wässerige und weingeistige Iodlösung. Dient vorzugsweise zur bekannten Färbung des Zellinhaltes und der Zellmembranen. Da sich bei längerem Stehen unter dem Einfluss des Lichtes Iodwasserstoffsäure in der Lösung bildet, so verwendet man bei Untersuchungen, wo die Reinheit des Reagens wichtig ist, am besten metallisches Iod, oder bereitet sich die Lösung unmittelbar vor dem Gebrauch. Manche Zellmembranen färben sich z. B. in alter Iodtinctur schön blau, während sie in frisch zubereiteter farblos bleiben, Man kann überhaupt ganz allgemein sagen, dass der Farbenton, den man bei der Iodreaction beobachtet, wesentlich von der Anwesenheit dritter Substanzen in der Beobachtungsflüssigkeit oder im Object abhängig ist.*) Bei genauen Untersuchungen kann hienach sogar ein Auswaschen des Präparates nothwendig sein, wenn die reine Iodlösung zur Wirkung kommen soll.

3) Iod gelöst in einer Iodverbindung. Hieher gehören die Iodzink-Iodlösung, die Iodkalium-Iodlösung, Iodammoniak-Iod-

*) Zahlreiche Belege hiefür gibt Nägeli in den Sitzungsberichten der k. b. Akad. der Wiss. Vortrag v. 13. Dec. 1862.

lösung etc. Alle diese Verbindungen verhalten sich im Wesentlichen gleich; sie bewirken dieselbe Blaufärbung der Cellulose, wie Iod in Verbindung mit Schwefelsäure oder Iodwasserstoffsäure. Eine besondere Vorschrift zur Bereitung dieser Reagentien ist im Grunde ziemlich überflüssig, da es ja bloss darauf ankommt, dass Iod in der betreffenden Iodverbindung gelöst sei; doch mag das Schultz'sche Recept zur Chlorzink-Iodlösung hier noch Platz finden: Man löse Zink in Salzsäure auf, dampfe die Lösung unter Berührung mit metallischem Zink bis zur Syrupdicke ab und löse darauf in diesem Syrup Iodkalium bis zur Sättigung. Alsdann wird Iod hinzugefügt und die Lösung, wenn es nöthig ist, mit Wasser verdünnt.

4) Concentrirte Schwefelsäure. Als Auflösungs- und Quellungsmittel der Zellmembranen vielfach angewendet. Mit etwas Wasser verdünnt eignet sie sich am besten zur Blaufärbung der Cellulose in Verbindung mit Iod. Die Färbung tritt am sichersten ein, wenn man das Präparat zuerst mit der Iodlösung betupft und dann die Säure zusetzt.

5) Kupferoxyd-Ammoniak. Wie die Schwefelsäure als Lösungs- und Quellungsmittel zu gebrauchen und für manche Zellmembranen (Baumwolle, Bastfasern etc.) vorzuziehen. Andere, wie z. B. die Membranen der Flechtenfasern, werden von diesem Reagens nicht angegriffen. Die Bereitung geschieht durch Auflösen frisch gefällten noch feuchten Kupferoxyds in ätzender Ammoniakflüssigkeit.

6) Salpetersäure. Findet verschiedene Anwendung. Werden Holzzellen in starker Säure so lange gekocht, bis sie farblos werden, und dann mit concentrirter Schwefelsäure behandelt, so lassen sie die Structurverhältnisse der Membran: Schichten, Streifungen etc. sehr schön erkennen. — Stickstoffhaltige Substanzen, die mit Salpetersäure behandelt wurden, färben sich auf Zusatz von Ammoniak mehr oder weniger gelb; schon die Säure allein bewirkt einen gelblichen Ton.

Als Macerationsmittel wirkt die Salpetersäure ähnlich, wie die bekannte zuerst von Schultz empfohlene Mischung derselben mit chlorsaurem Kali. Querschnitte durch Tannenholz lassen sich schon nach kurzem Erhitzen (am besten in einer Kochröhre) in ihre einzelnen Zellen zerlegen; man hat zu diesem Ende nur nöthig, dieselben auf dem Objectträger mit dem Deckglas zu zerreiben. Da die Zellenstücke, die man auf diese Weise erhält, sich bequem drehen lassen, so ist diese Behandlung der Querschnitte bei manchen Untersuchungen sehr zweckmässig. Man verschafft sich den nöthigen Vorrath von

Untersuchungsmaterial, indem man eine grössere Menge von Schnitten in einer Kochröhre erhitzt und dann in eine reichliche Quantität von Wasser ausgiesst, um einer weiteren Veränderung vorzubeugen. — Das vollständige Schultz'sche Macerationsverfahren besteht in Folgendem: Man zerkleinert den Gegenstand, z. B. Holz, bis zur Dicke eines Schwefelhölzchens, bringt denselben in eine lange und mässig weite Kochröhre, gibt dem Volumen nach eben so viel chlorsaures Kali hinzu und so viel Salpetersäure, dass Holz und Kali mindestens davon bedeckt werden. Man erwärmt jetzt über der Weingeistlampe, es tritt bald eine lebhafte Gasentwicklung ein, worauf man die Kochröhre von der Flamme entfernt, aber das oxydirende Gemisch noch 1½—3 Minuten einwirken lässt und darauf das Ganze in eine Schaale mit Wasser schüttet. Man sammelt alsdann die noch ziemlich zusammenhängenden Stückchen, bringt sie abermals in eine Kochröhre und kocht sie wiederholt so lange mit Alcohol aus, als sich derselbe färbt, worauf man sie zuletzt noch einmal mit Wasser aufsiedet.

Sowohl das Erhitzen mit Salpetersäure allein, als mit chlorsaurem Kali und Salpetersäure, darf niemals in dem Zimmer stattfinden, wo die Mikroskope stehen, weil die sich entwickelnden sauren Dämpfe die Objective angreifen.

7) Salpetersaure Quecksilberlösung (Millon'sches Reagens). Färbt stickstoffhaltige Verbindungen bei längerer Einwirkung, oder noch besser nach gelindem Erwärmen, ziegelroth.

8) Kupfervitriol. In Verbindung mit Kali eines der besten Reagentien auf Traubenzucker und Dextrin, sowie auf Proteinverbindungen. Erwärmt man ein von Kupfervitriol durchtränktes Präparat mit Kali, so deutet ein rother Niederschlag in den Zellen auf Traubenzucker oder Dextrin und eine violette Färbung der Flüssigkeit auf eiweissartige Verbindungen.

9) Chromsäure. Ein Lösungsmittel für Cuticulargebilde. Die concentrirte Säure löst den Kork und die Exine der Pollenkörner vollständig auf. Von der Cuticula der Epidermis widersteht höchstens ein äusserst dünnes, vorwiegend aus Kieselerde bestehendes Häutchen (Pollender, Bot. Zeit. 1862 p. 385).

10) Eisenchlorid, oder ein beliebiges Eisenoxydsalz. Färbt Gerbstoff- führende Zellen blauschwarz oder grün, je nachdem der Gerbstoff ein eisenbläuender oder ein eisengrünender ist. — Das Präparat wird in schwierigeren Fällen direct in die Lösung gebracht und sogleich beobachtet, weil sonst das Wasser den Gerbstoff auszieht und überschüssiges Eisenchlorid den entstandenen Niederschlag

wieder löst. — Statt eines Eisenoxydsalzes empfiehlt Sanio das zweifach chromsaure Kali, welches mit den Gerbstoffen eine braune, im Reagens selbst unlösliche Masse bildet.

11) Glycerin. Als Aufbewahrungsmittel mikroskopischer Präparate, dann zum Ablösen des Primordialschlauches von der Membran (wozu übrigens Zuckerlösung, verdünnte Säuren etc. sich ebenso gut eignen) in Gebrauch. Das concentrirte Glycerin kann ferner angewendet werden, um quellungsfähige oder lösliche Substanzen zunächst trocken zu beobachten und dann die Wirkung einer allmählichen Verdünnung mit Wasser zu verfolgen. — In Verbindung mit verdünnten Säuren wirkt das Glycerin lösend auf die Proteinkrystalloide.

12) Zuckerlösung. Färbt stickstoffhaltige Substanzen in Verbindung mit Schwefelsäure rosenroth. Man tränkt das Präparat erst mit Zuckerlösung und setzt hierauf ziemlich concentrirte Schwefelsäure hinzu (3 Theile englische Schwefelsäure und 1 Theil Wasser). Die Färbung tritt alsdann nach wenigen Minuten deutlich hervor.

13) Citronenöl oder ein anderes aetherisches Oel. Vermindert die Lichtbrechung und eignet sich daher zur Untersuchung starkbrechender Substanzen, wo sonst der Randschatten störend wirkt (z. B. bei Beobachtungen im polarisirten Licht), ferner zur Untersuchung der Objecte im trockenen Zustand. In manchen Fällen leistet übrigens fettes Oel dieselben Dienste.

14) Karmin in Aetzammoniak. Wird zur Färbung des Protoplasma und des Zellkerns empfohlen. Ebenso essigsaures Cochenillenextract und in neuerer Zeit auch Anilinfarben.*)

15) Alcohol und Aether. Dienen zur Entfernung der darin löslichen Stoffe aus den zu untersuchenden Gegenständen. Der Alcohol ist überdiess ein Reagens auf fette Oele, indem derselbe das Zusammenfliessen kleiner Tröpfchen zu grössern bewirkt.

16) Essigsäure. Wird bei Untersuchungen über Zelltheilungen u. dgl. oft mit Vortheil den vorher mit verdünnter Kalilösung behandelten Präparaten zugesetzt; da sie den Inhalt trübt und die Membranen hell lässt, so gewinnt dadurch die Zeichnung des Zellennetzes oft sehr an Deutlichkeit. Dieselben Dienste leisten übrigens auch verdünnte Mineralsäuren.

*) Die Tinctionsmethoden finden bei der mikroskopischen Untersuchung thierischer Gewebe eine ausgedehnte Anwendung. Für die Botanik ist der Werth derselben nach den bisherigen Erfahrungen jedenfalls nicht hoch anzuschlagen.

III.

Art des Vorkommens chemischer Verbindungen.

Ebenso wichtig als die Natur der chemischen Verbindungen ist 431
bei mikroskopischen Untersuchungen die Art ihres Vorkommens. Die pflanzlichen Gewebe bieten in diesem Betreff folgende Fälle: 1) organisirte Verbindungen, 2) krystallinische Bildungen, 3) Einlagerungen in organisirte Gebilde, 4) Stoffe, die in Wasser oder Oel gelöst sind, 5) Flüssigkeiten. Derselbe Stoff kann hier in dieser, dort in einer andern Gestalt auftreten, wie denn bekanntlich die Proteinverbindungen sowohl organisirt als gelöst oder in andere Gebilde eingelagert vorkommen, desgleichen der Kalk sowohl in Krystallform im Lumen der Zelle, als im eingelagerten Zustande in den Membranen u. s. w.

Solche Verhältnisse festzustellen und in jedem gegebenen Falle die Art des Vorkommens zu ermitteln, erfordert oftmals eine sorgfältige Untersuchung. Wie leicht man sich irren kann, beweist unter Anderem die in den Lehrbüchern vertretene Ansicht über die Natur der morgensternartigen Kalkgebilde in den Zellen von Ficus etc., wonach jede Spitze als ein Krystall und zwar als ein spitzes Rhomboeder zu betrachten wäre. Die Beobachtung der Auflösungserscheinungen und des nach der Auflösung (in Salz- oder Salpetersäure) zurückbleibenden Cellulosegerüstes, in Verbindung mit den Erscheinungen, die das polarisirte Licht zeigt, lehrt jedoch, dass der Kalk nur als incrustirende Materie in den geschichteten Zacken dieses Gerüstes enthalten sein konnte. — Ein ferneres Beispiel liefern die violetten und rothen Krystalloide in den Beeren von Solanum nigrum. Auf den ersten Blick möchte man dieselben für krystallisirtes Anthocyan halten; die genauere Untersuchung lehrt aber, dass der Farbstoff in eine gallertartige, quellungsfähige Substanz, verbunden mit Plasma, eingelagert ist. Die vegetabilischen Farbstoffe scheinen überhaupt in krystallinischer Form nicht vorzukommen, sondern höchstens als Einlagerungen in Plasmagebilden. Diess dürfte auch bei jenen intensiv gefärbten Krystallkugeln der Fall sein, welche sich in den blauen Zellen der Blumenblätter ausscheiden, wenn der Primordialschlauch stark contrahirt wird.

Dass die Art des Vorkommens der verschiedenen Verbindungen 432
gewissermaassen von deren chemischer Zusammensetzung abhängig

ist, in dem Sinne nämlich, dass verwandte Stoffe ein übereinstimmendes Verhalten zeigen, geht aus folgenden Beispielen hervor. Alle gummi- und celluloseartigen, ebenso die eiweissartigen Stoffe kommen in der Pflanze nur in Lösung und im organisirten Zustande vor. In letzterer Form treten sie ferner stets als Gemenge von wenigstens zwei verschiedenen Verbindungen auf, wovon die eine durch ein Lösungsmittel ausgezogen werden kann, während die andere sich noch nicht löst. Stärkekörner, Zellmembranen, Proteinkrystalloide, Plasmagebilde stimmen in dieser Beziehung überein. Das Chlorophyll und die chemisch verwandten Farbstoffe der Algen und Flechten (Phycocyan, rother Farbstoff der Florideen) kommen eingelagert in Plasmagebilden oder gelöst in aetherischen oder fetten Oelen, das Anthocyan oder Erythrophyll dagegen in wässeriger Lösung und in Farbkrystalloiden, aber nicht in andern Plasmagebilden der lebenden Zelle vor. Andere Farbstoffe beobachtet man bloss als Einlagerungen in Membranen.

IV.

Krystallographische Untersuchungen.

433 Als ein besonderer Theil der Mikrochemie ist in der Praxis die mikroskopische Bestimmung der Krystallformen zu betrachten, indem diese letzteren in vielen Fällen die sichersten Anhaltspunkte bieten, die chemische Natur krystallisirter Substanzen zu erkennen. Es ist daher für den Mikroskopiker ein Bedürfniss, sich auch mit krystallographischen Untersuchungen einigermaassen vertraut zu machen, sowie es andererseits dem Krystallographen, wenn er sich mit künstlichen Krystallen beschäftigt, öfters von Nutzen sein könnte, das Mikroskop zu Rathe zu ziehen.

Die mikroskopische Unterscheidung der Krystallformen setzt übrigens nicht bloss die Kenntniss der krystallographischen Systeme voraus; sie erfordert in der Regel auch besondere Manipulationen und Vorsichtsmaassregeln, die beim Sehen mit blossem Auge theils wegfallen, theils in anderer Weise zur Anwendung kommen. Schon die genaue Messung der Winkel ist in manchen Fällen eine sehr schwierige Aufgabe, da eine schwache Neigung der Fläche, deren Kantenwinkel man misst, oder eine etwas schiefe Stellung der Kante, wenn

ein Flächenwinkel bestimmt werden soll, das Resultat der Messung leicht um 2 — 3 Grade verändert. Wir haben hierüber bereits oben, bei Gelegenheit der Goniometermessungen (s. pag. 283), das Nähere mitgetheilt.

Selbstverständlich muss der Beobachter den Krystall successive so zu drehen suchen, dass die zur vollständigen Flächenbestimmung nöthigen Messungen, sei es an Kantenwinkeln oder Flächenwinkeln, mit möglichster Genauigkeit vorgenommen werden können. Dass er dabei, je nach der Form des Krystalls, bald diese bald jene Combination von Winkeln zu wählen hat, ist ebenfalls einleuchtend. Haben die auf dem Objectträger liegenden Krystallindividuen eine verschiedene Lage und Ausbildung, so ist es rathsam, jede einzelne Winkelbestimmung an dem hiezu günstigsten Object auszuführen und die so gewonnenen Data zu combiniren. Eine vorläufige Orientirung über die vorkommenden Flächen durch Drehung eines bestimmten Krystalls ist indess immer unerlässlich, da ja sonst die richtige Deutung verschiedener Lagen nicht denkbar wäre.

Wie man aus bekannten krystallographischen Elementen die davon abhängigen unbekannten berechnet, findet man in jedem Lehrbuch der Krystallographie angegeben. Es wäre überflüssig, hier auseinander zu setzen, wie aus dem Säulenwinkel eines rhombischen Prismas das Verhältniss der makro- und brachydiagonalen Axe bestimmt wird, oder wie man aus den gegebenen Kantenwinkeln eines Rhomboeders den Neigungswinkel der Flächen berechnet u. dgl. Dagegen mögen einige Formeln Platz finden, welche ausschliesslich oder doch vorzugsweise bei mikroskopischen Beobachtungen Anwendung finden, indem sie zur Verwerthung von Winkeln dienen, die mit dem Reflexionsgoniometer nicht gemessen werden können. 434

Es seien erstens Rhomboeder oder klinorhombische Säulen mit schiefer Endfläche (Hendyoeder) zu bestimmen. Dieselben nehmen nicht selten eine solche Lage an (Fig. 212), dass zwei Flächen (*ab* und *cd*) genau senkrecht stehen, so dass die Neigung derselben zu den Seitenkanten direct gemessen werden kann. Ebenso leicht lassen sich solche Krystalle auf eine der beiden Flächen *ab* oder *cd* (bei Rhomboedern überhaupt auf eine Rhomboederfläche) wälzen, wodurch die ebenen Winkel derselben in gleicher Weise messbar werden. Diese beiden Messungen genügen, um den Winkel der in den Kanten *ac* und

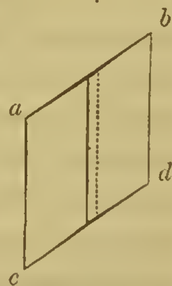


Fig. 212.

bd zusammenstossenden Flächen, den wir mit ξ bezeichnen wollen, zu berechnen. Ist nämlich $bac = \varphi$, ferner der ebene Winkel der Fläche ab, dessen Scheitel in a liegt $= \varrho$, dann erhält man für den Säulenwinkel ξ

$$\text{tang } \tfrac{1}{2}\,\xi = \frac{\text{tang } \tfrac{1}{2}\,\varrho}{\sin \varphi}.$$

Dass die nämliche Formel auch bei andern Krystallen, z. B. bei vorwiegend entwickelten Flächen, welche die Ecken einer geraden Säule abstumpfen etc., anwendbar ist, bedarf keiner Erörterung. Sobald überhaupt bei einer von drei Flächen gebildeten körperlichen Ecke zwei von den drei Grössen ξ, ϱ und φ (Kantenwinkel einer Fläche, Neigungswinkel gegen die Kante der beiden andern, und Flächenwinkel dieser beiden andern) gegeben sind, kann die dritte nach obiger Formel berechnet werden.

435 Ein zweiter Fall, welcher zu noch complicirteren Berechnungen Veranlassung gibt, ist die vorwiegende Ausbildung von Flächen, welche mit keiner Axe des Krystalls parallel verlaufen, wie z. B. der Octaederflächen am Rhombenoctaeder. Indem solche Flächen mit andern zum Durchschnitt kommen, entstehen Kantenwinkel, welche selbst in den ausführlicheren krystallographischen Werken nicht angegeben sind und sich auch nicht so unmittelbar aus den gegebenen Daten ableiten lassen. Ihre Kenntniss ist aber in manchen Fällen unerlässlich, um über die Deutung eines gemessenen Winkels ins Klare zu kommen. Wir wollen die Aufgabe an einer bestimmten Krystallform, die dem rhombischen System angehören soll, zu veranschaulichen suchen.

Man denke sich ein mikroskopisches Rhombenoctaeder, an welchem die Abstumpfungsflächen aller Kanten und Ecken, dazu die Flächen des zweifach stumpfern Octaeders ($^0/_2$) ausgebildet sind. Eine der letzteren sei sammt der gegenüberliegenden tafelartig entwickelt, so dass die Durchschnittslinien mit den benachbarten Flächen die Umrisse der Tafel bilden, deren Winkel unter dem Mikroskop die einzig messbaren sein sollen. Die Untersuchung dieses Krystalls, so setzen wir ferner voraus, führe zu der Annahme, derselbe bestehe aus einer bestimmten chemischen Verbindung, deren Krystallform genau bekannt ist. Man wird sich alsdann die Frage zu stellen haben, ob die in den krystallographischen Werken mitgetheilten Angaben mit den mikroskopischen Messungen übereinstimmen, ob überhaupt die angenommene chemische Zusammensetzung und die derselben entsprechende Krystallform mit der tafelartigen Ausbildung einer

bestimmten Fläche, wenn die resultirenden Winkel gegeben sind, vereinbar seien.

Die Beantwortung dieser Frage durch Rechnung wäre sehr umständlich; man gelangt viel rascher zum Ziel, wenn man die fragliche Krystallform nach Neumann'scher Methode projicirt und die tafelartig gedachte Fläche als Projectionsebene wählt. Man denke sich vom Mittelpunkt des Krystalls, dem Kreuzungspunkt der Axen, Normale auf die einzelnen Krystallflächen gezogen und so weit verlängert, dass sie die Projectionsebene schneiden. Die Durchschnittspunkte bilden alsdann die Oerter der Krystallfläche in jener Ebene; sie stellen nicht bloss die krystallographischen Beziehungen und namentlich die Zonenverhältnisse höchst übersichtlich dar, sondern geben auch ein Mittel an die Hand, die Winkel zu bestimmen, welche die Durchschnittslinien der Krystallflächen mit der Projectionsebene unter sich bilden, d. h. die Winkel der tafelähnlich gedachten Krystallfläche. Verbindet man nämlich den Ort dieser letzteren in der Projection mit den Oertern der übrigen Flächen durch gerade Linien und errichtet auf letzteren Senkrechte, so stellen diese die Spuren der Krystallflächen auf der Projectionsebene und folglich die Ränder der Krystalltafel dar.

Als Beispiel eines solchen Verfahrens mag hier noch die Erläuterung einer nach bekannten Winkelgrössen ausgeführten Construction folgen. Es sei an dem zweigliedrigen Krystall mit den oben bezeichneten Flächen gegeben: 436

Das Verhältniss der Axen

$$a : b : c = 0{,}57 : 1 : 0{,}75.$$

Die Neigung der

Octaederfläche (0) zur Säulenfläche (p) $= 146\frac{1}{3}\,^0$
Octaederfläche (0) zur 2fach stumpfern $^0/_2$ $= 160\frac{1}{2}\,^0$
Octaederfläche $^0/_2$ zur Endfläche c $= 143\,^0$
Octaederfläche $^0/_2$ zur Abstumpfungsfläche der scharfen Säulenkante (b) $= 107\frac{1}{3}\,^0$.

Mit Hülfe dieser Daten und denjenigen, die man durch Addition und Subtraction daraus ableiten kann, lassen sich nun die Oerter der Krystallflächen auf der Projectionsebene AB (Fig. 213), die wir uns mit der Octaederfläche $^0/_2$ zusammenfallend oder parallel denken wollen, leicht construiren. Man wähle den Ort der Octaederfläche $^0/_2$ als Ausgangspunkt und ziehe von dem beliebig gewählten Centrum x des Krystalls Linien, welche die senkrecht zur Papierebene gedach-

ten Krystallflächen rechtwinklig treffen und folglich mit der Richtung $x\,{}^{o}/_{2}$ Winkel bilden, welche die entsprechenden Neigungswinkel

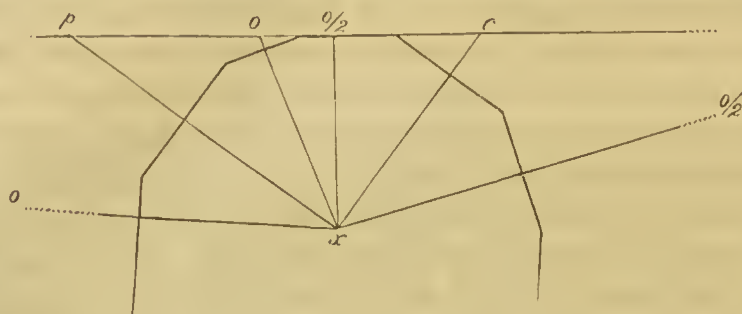


Fig. 213.

der Flächen zu 180° ergänzen. Die Entfernungen ${}^{o}/_{2}\,c$, ${}^{o}/_{2}\,o$ etc. werden alsdann, wie diess in Fig. 214 in verkleinertem Maassstabe geschehen, auf eine gerade Linie aufgetragen, deren Richtung auf der

Fig. 214.

zugehörigen Zonenaxe rechtwinklig steht; desgleichen die Entfernungen $^0/_2$ *b*, $^0/_2$ *p'* auf Linien, welche die diesen Flächenpaaren entsprechenden Kanten senkrecht treffen.

Die Construction dieser drei Linien setzt die Kenntniss der drei ebenen Winkel der Octaederfläche $^0/_2$ voraus, weil ja die drei Zonenaxen den drei Seiten des Dreiecks, das jene Fläche darstellt, parallel verlaufen. Diese Winkel müssen demnach gegeben oder vorerst aus dem Verhältniss der Axen $a : b : c$ berechnet werden. Die Oerter der übrigen Flächen ergeben sich dagegen unmittelbar aus den Zonenverhältnissen, die auch der weniger Kundige an Krystallmodellen leicht überblickt. In unserer Figur sind nur die mit einem Sternchen bezeichneten Oerter construirt, alle übrigen abgeleitet. Die Abstumpfungsflächen *q* der scharfen Endkanten am Hauptoctaeder sind z. B. durch Linien bestimmt, welche von *b* durch *c* und von *p'* durch die beiden $^0/_2$ über und unter *c* gezogen werden; ihre Oerter entsprechen den Kreuzungspunkten dieser letzteren zwei Linien mit der ersten. Ebenso erhält man die Oerter für $^0/_2$ rechts und links von der Mittellinie, indem man z. B. die beiden *q* mit *p* verbindet und die Verbindungslinien mit der Richtung *p' c* sich kreuzen lässt. Dieses Verfahren wird fortgesetzt, bis alle Flächen des Krystalls bestimmt sind. Wer sich einigermaassen mit den Zonenverhältnissen vertraut gemacht hat, wird sich bald darin zurecht finden.

Unsere Figur gibt ausser den genannten Punkten noch die Abstumpfungsfläche *a* der stumpfen Säulenkante und das sogenannte dritte Paar *r* (die Abstumpfungsfläche der stumpfen Octaederkante); sie deutet überdiess durch punctirte Linien die mannigfachen Beziehungen der vorhandenen Flächen zu einander und die Oerter anderer, nach unserer Annahme nicht ausgebildeter, aber möglicher Flächen an.*)

Bis hierher ist das ganze Verfahren nichts anderes, als die Anwendung der Neumann'schen Projection auf den Fall, dass alle drei Krystallaxen schief gestellt sind. Man hat jetzt nur noch nöthig, vom Punkte $^0/_2$, dem Ort der Projectionsfläche, Linien nach den übrigen Punkten (*q b p p'* etc.) zu ziehen, in beliebiger Entfernung

*) Die Zonenlehre ist wohl in den meisten besseren krystallographischen Werken, wenigstens in den Grundzügen, mitgetheilt. Sehr empfehlenswerth finden wir unter den kleineren Werken Rammelsberg, Lehrbuch der Krystallkunde; nur ist die dort angewandte Projectionsmethode eine andere, nämlich die Quenstedt'sche Linearprojection, welche im Gegensatz zu der hier angewandten die Flächen durch Linien und die Zonen durch Punkte darstellt.

Senkrechte darauf zu errichten und dieselben zum Polygon zu verbinden. Das letztere hat alsdann genau die Form des eingebildeten tafelartigen Krystalls, indem die Seiten desselben, wie leicht einzusehen, den Durchschnitten der Krystallflächen mit der Projectionsebene parallel sind.

Will man zugleich den Verlauf der am Rande noch sichtbaren Kanten angeben, so kann diess einfach nach folgender Regel geschehen: Wenn zwei Flächen zusammenstossen, so steht die gebildete Kante senkrecht auf der Verbindungslinie ihrer Oerter. So ist z. B. die Kante, welche die Flächen *a* und *p* in unserer Figur am Rande bilden, parallel mit der Mittellinie, weil die Richtung *ap* dieselbe rechtwinklig trifft. Ebenso steht die Kante zwischen *o* und *a* (links unten) senkrecht auf der Linie *a o q* u. s. w.

437 In ähnlicher Weise lassen sich nun auch beliebige andere Krystallformen schematisch darstellen, vorausgesetzt, dass die erforderlichen Winkel bekannt sind. Solche Darstellungen gewähren immer, abgesehen von der im Vorhergehenden ins Auge gefassten Bedeutung, eine äusserst klare Uebersicht über die Zonenverhältnisse, welche die richtige Deutung der Flächen und Kanten oft wesentlich erleichtert.

Die Bestimmung der Krystallformen unter dem Mikroskop ist übrigens bei alledem, wie sich Jeder bald überzeugen wird, mit grossen Schwierigkeiten verbunden. Die möglichen Fehler beim Messen der Winkel lassen es in manchen Fällen unentschieden, ob ein Krystall zum hexagonalen oder rhombischen, zum rhomboedrischen oder monoklinischen System gehöre. Ja es kann vorkommen, dass Krystalltafeln, welche dem ein- und eingliedrigen (triklinoedrischen) System angehören, täuschend ähnlich aussehen wie rectanguläre, indem die schiefen Winkel der ausgebildeten Flächen zuweilen nur um 1° von rechten differiren. Als ein Beispiel dieser Art sei hier das zweifach chromsaure Kali erwähnt, das auf dem Objectträger meist in achteckigen Tafeln mit nahezu gleichen Winkeln (bei gleichen oder ungleichen Seiten) krystallisirt

In solchen Fällen ist die Untersuchung im polarisirten Licht von Wichtigkeit, da die Farbenerscheinungen beim Drehen der Krystalle um eine senkrechte Axe und beim Neigen derselben nach verschiedenen Seiten gegen die Mikroskopaxe über die Lage und relative Grösse der optischen Axen Aufschluss geben. An den Tafeln des zweifach chromsauren Kali sieht man z. B. sogleich, dass sich die Farbe beim Neigen nach rechts und links ungleich verändert, dass

folglich keine der drei Axen senkrecht steht, wie es bei Tafeln des rectangulären Systems der Fall sein müsste. Ebenso leicht sind rhombische Tafeln mit abgestumpften Ecken von regulär-hexagonalen zu unterscheiden, indem die erstern beim Drehen ihre Farbe verändern, letztere nicht.

Noch müssen wir hier zwei Methoden der Krystallbestimmung erwähnen, welche neuerdings von Zenger und von Wertheim angewendet und beschrieben wurden. Zenger*) suchte die Fehlerquellen, welche mit der directen Winkelmessung verbunden sind, dadurch zu umgehen, dass er statt der Winkel die Diagonalen oder Kantenlängen der Flächen bestimmte und hieraus die Winkelgrössen trigonometrisch berechnete. Er bediente sich dabei eines grossen Plössl'schen Mikroskops mit Schraubenmikrometer und erzielte bei 60—130 facher Vergrösserung, den mitgetheilten Controlmessungen zufolge, eine Genauigkeit, die in der That wenig zu wünschen übrig lässt. Die Bestimmungen wurden an rhomboedrischen Metallen (Tellur, Arsenik, Wismuth, Antimon, Zink etc.) ausgeführt, an welchen ausser dem Hauptrhomboeder (R) meist noch ein spitzeres Rhomboeder ($2\,R'$) mit den Abstumpfungsflächen der Rhomboederecken entwickelt war. Dem entsprechend wurden je nach der Beschaffenheit des Krystalls direct gemessen: 438

1) die Diagonalen dd' der Rhomboederflächen, woraus nach der Formel

$$\frac{d'}{d} = \operatorname{tang} \alpha$$

der halbe spitze Winkel α der Rhomben berechnet werden konnte; oder

2) die Seiten der gleichschenkligen Dreiecke, welche durch Abstumpfung der Seitenecken des Rhomboeders entstehen. Bezeichnet man diese Seiten mit a, a, b oder a, b, b, wo immer $a > b$, so ist

$$\frac{b}{a} = \operatorname{tang} \alpha$$

wenn α wieder den halben spitzen Winkel der Rhomben bedeutet. Oder

3) eine Rhombenseite (l) und eine Diagonale (d oder d'), wobei

$$\sin \alpha = \frac{d'}{2\,l}, \; \cos \alpha = \frac{d}{2\,l}.$$

---

*) Zenger: Mikroskopische Messungen der Krystallgestalten einiger Metalle. Sitzungsber. d. kais. Akad. der Wiss. in Wien. Bd. XLIV. 2. Abth.

Sind die Kantenwinkel auf diese Weise bestimmt, so können sowohl die Flächenwinkel als das Axenverhältniss nach den bekannten Formeln für das rhomboedrische System berechnet werden.

Nach Zenger sind die Fehler, welche nach dieser Methode aus der ungenauen Horizontalstellung der Kanten und der fehlerhaften Einstellung entspringen, viel geringer als bei der directen Winkelmessung mittelst des Oculargoniometers. Wir verweisen in Betreff der näheren Begründung dieser Vorzüge und der Veranschaulichung derselben durch Beispiele auf die citirte Abhandlung.

439 Das Wertheim'sche Verfahren*) setzt voraus, dass der Beobachter mit den zur Bestimmung von Niveaudifferenzen im Gesichtsfelde nöthigen Vorrichtungen (vgl. pag. 235) versehen sei. Dasselbe besteht wesentlich in der Lösung der Aufgabe: den Neigungswinkel zweier Flächen, was immer für eine Neigung zum Horizonte sie haben, zu bestimmen. Man sieht leicht ein, dass damit das Problem der Krystallbestimmung im Allgemeinen erschöpft ist.

»Es handelt sich vorerst darum, die Lage einer Ebene im Raume zu bestimmen. Diess geschieht durch die Bestimmung der Lage von drei beliebigen Punkten derselben. Leicht werden solche auffindbar sein, die sich auszeichnen und daher schnell und sicher wieder gefunden werden. Die ausnahmslos vorhandenen Rauhigkeiten, Risse und Sprünge auf den Flächen gestatten diess ohne Schwierigkeit. Nachdem man zuerst einen derselben in die Mitte des Gesichtsfeldes geschoben, auf ihn scharf eingestellt und nun sowohl die Lage der zwei ihm zugehörigen Horizontalcoordinaten als auch den Höhenstand des Tubus abgelesen und notirt hat, wiederholt man dieses Verfahren für die zwei anderen Punkte, womit die mit dem Instrument zu vollziehende Arbeit beendet ist. Die Differenzen zwischen den jetzt abgelesenen Ständen und den als Nullpunkt angenommenen des erstbestimmten Punktes, mit den gleichen oder entgegengesetzten Zeichen versehen, je nachdem sie im gleichen oder entgegengesetzten Sinne von ihm abstehen, geben die gesuchten Dimensionen. Diese Daten genügen, um nach einer bekannten Formel (die man in jedem Lehrbuch der analytischen Geometrie findet) die Lage der Ebene zu bestimmen. Dasselbe Verfahren wiederholt man bei der zweiten Ebene, die nicht an die erste zu grenzen braucht, auch ausserhalb des bisherigen Gesichtsfeldes liegen kann. Aus der bekannten Lage

*) Sitzungsber. d. kais. Akad. der Wiss. in Wien. Bd. 45, pag. 157.

beider Flächen ergibt sich sodann der Werth des von ihnen eingeschlossenen Winkels.«

Diese Methode mag unter Umständen ganz praktisch sein; sie ist aber offenbar nur bei Krystallen anwendbar, die mindestens einen grossen Theil des Gesichtsfeldes einnehmen. Die Resultate werden um so ungenauer ausfallen, je kleiner die Coordinatenunterschiede der drei Punkte im Verhältniss zu den unvermeidlichen Messungsfehlern, die leicht 1—2 Mik. und darüber betragen können.

V.

Specielle Betrachtung der wichtigsten chemischen Verbindungen.

Von den zahlreichen Stoffen, welche in vegetabilischen Gewe- 440
ben in grösserer oder geringerer Menge enthalten sind, wollen wir im Folgenden diejenigen, die vermöge ihrer allgemeinen Verbreitung und hervorragenden physiologischen Bedeutung ein besonderes Interesse gewähren, noch specieller betrachten. Es sind diess die Mineralstoffe Kalk und Kieselerde, dann die Pflanzensäuren, Gerbstoffe und Glycoside, die Farbstoffe und Chromogene, endlich die Kohlenhydrate und die Proteinverbindungen. Zum Voraus sei indess bemerkt, dass die mikrochemischen Methoden, die bis jetzt bekannt geworden sind, noch gar sehr der Ausbildung bedürfen, bis sie dem Beobachter die nöthigen Anhaltspunkte bieten, um die Vertheilung und Wanderung der genannten Stoffe im Organismus zu verfolgen. Was in dieser Beziehung bereits festgestellt ist, verdanken wir zum grössten Theil den Bestrebungen der organischen Chemie und insbesondere der Agriculturchemie. Dessenungeachtet lässt sich nicht in Abrede stellen, dass die Mikrochemie für die verschiedenen Richtungen der mikroskopischen Forschung, und besonders für die botanische, eine von Jahr zu Jahr steigende Bedeutung gewinnt und bereits eine Stufe erreicht hat, welche die specielle Berücksichtigung derselben in einem Werke wie das vorliegende nicht nur rechtfertigt, sondern fordert. Wir haben desswegen die in neuerer Zeit angewandten Reactionen, soweit sie uns nicht durch frühere Erfahrungen hinlänglich bekannt waren, durch besonders zu diesem Zweck angestellte Versuche geprüft, um über den praktischen Werth derselben aus eigener Anschauung urtheilen zu können.

1. Kalk und Kieselerde.

441 Der Kalk findet sich in den Geweben bald als Einlagerung in den Membranen, bald ausserhalb derselben. Im eingelagerten Zustande bildet er entweder mikroskopisch wahrnehmbare Körnchen (diess wohl nur in der Extracellularsubstanz der Algen), oder er verbindet sich mit den Membrantheilen zu einer homogenen Masse, die sich von reiner Cellulose optisch nicht unterscheidet. Ausserhalb der Membranen ist er, abgesehen von den aus kohlensaurem Kalk bestehenden Incrustationen der Wasserpflanzen, nur als oxalsaurer Kalk bekannt, erscheint jedoch als solcher in vier verschiedenen Formen: als tetragonales Octaeder, als klinorhombisches Prisma (früher für Gypskrystalle gehalten), als Nadeln, als morgensternförmige Drusen und in der Form von kleinen rundlichen Körnern.

Die Kalkeinlagerungen, welche körniger Natur sind, lösen sich in verdünnten Säuren meist unter Aufbrausen und geben sich dadurch, sowie durch die Bildung feiner Gypsnadeln auf Zusatz von Schwefelsäure als kohlensauren Kalk zu erkennen. Diejenigen dagegen, welche die Homogenität und Durchsichtigkeit der Membran in keiner Weise beeinträchtigen, lassen sich nur in der Asche oder im Skelett nachweisen, welches beim Verbrennen zurückbleibt. Es ist in diesem Falle zweifelhaft, ob der Kalk ebenfalls in Verbindung mit einer Säure oder aber als CaO in die Membran eingelagert war, da er durch den Verbrennungsprocess unter allen Umständen in kohlensauren Kalk übergeführt wird. Mancherlei Gründe sprechen indess zu Gunsten des basischen Zustandes als Calciumoxyd.

Von den chemischen Reactionen auf Kalk, welche sich unter dem Mikroskop verwerthen lassen, erscheinen uns namentlich folgende empfehlenswerth.

*) Kalk in ungelöster Form.

Löst sich in Essigsäure unter Gasentwicklung; auf Zusatz von saurem oxalsaurem Kali zur Lösung bilden sich octaedrische Krystalle von oxalsaurem Kalk: kohlensaurer Kalk.

Unlöslich in Essigsäure und Oxalsäure, löslich in Salzsäure und Salpetersäure, aber ohne Gasentwicklung, zeigt auf Zusatz von Chlorbaryum keine Veränderung und verhält sich nach dem Glühen wie kohlensaurer Kalk: oxalsaurer Kalk.

Löslich in viel Wasser (500 Theile), etwas leichter in Säuren, also in wenig Salz- oder Salpetersäure unlöslich; bedeckt sich auf

Zusatz von Chlorbaryum mit kleinen Körnchen (von schwefelsaurem Baryt): schwefelsaurer Kalk.*)

**) Kalk in Lösung.

Bildet auf Zusatz von Oxalsäure oder löslichen oxalsauren Salzen kleine Krystalle von oxalsaurem Kalk, die sich in Salz- und Salpetersäure, nicht aber in Essigsäure und Ammoniak lösen.

Die Unterscheidung der verschiedenen organischen Säuren, an welche der Kalk gebunden sein kann, ist wegen der geringen Concentration der Lösungen in der Regel nicht möglich; die üblichen Reactionen sind hiefür nicht empfindlich genug.

Die Kieselerde findet sich gewöhnlich als Einlagerung in den Membranen, so in der Epidermis vieler Pflanzen und in den Parenchymzellen der Blätter, zuweilen aber auch als Auskleidung oder als vollständiger Abguss der Zellhöhlung oder als rundliche Concretionen (Cystolithen, Kieselkörner) im Zelleninhalt. Die beiden letzteren Arten des Vorkommens scheinen sich indess nur auf Zellen zu beschränken, welche bereits im Absterben begriffen sind, während die Verkieselung der Wandungen nach Mohl schon beginnt, wenn die Zellen noch lange nicht ausgewachsen sind und sich also in voller Lebensthätigkeit befinden. 442

Die Kieselerde lässt sich wegen ihrer Widerstandsfähigkeit gegen die stärksten Säuren (mit Ausnahme der Fluorwasserstoffsäure) und ihrer Unveränderlichkeit in der Glühhitze leicht nachweisen, da dieselbe nach der Zerstörung der organischen Substanz mittelst Schwefelsäure oder durch Verbrennung und nach der Behandlung der Aschenbestandtheile mit Salzsäure als Skelett zurückbleibt. In dieser einfachen Form gewährt jedoch das Verfahren, besonders wenn es sich um dünnwandige und wenig verkieselte Membranen handelt, keinen befriedigenden Erfolg. Die Anwendung der concentrirten Schwefelsäure ist nach Mohl (Bot. Ztg. 1861 p. 213) mit dem Nachtheil verbunden, dass dieselbe die organische Substanz nicht selten in eine zähe schwarzbraune Masse verwandelt, in welcher die Nachweisung eines Kieselskelettes sehr erschwert und häufig unmög-

*) Die Krystalle im Gewebe der Scitamineen, im Rhizom von Iris etc., die man früher für Gyps hielt, desgleichen die rhomboederähnlichen Formen, die man als kohlensauren Kalk betrachtete, bestehen nach neueren Untersuchungen aus oxalsaurem Kalk. Der schwefelsaure Kalk scheint hienach in Pflanzengeweben nicht krystallinisch vorzukommen.

lich wird. Andererseits ist die vollständige Zerstörung der organischen Substanz durch Verbrennung in vielen Fällen unmöglich, wenn man nicht vorher einen Theil derselben nebst den alkalischen Salzen auszieht. Auch kann es ohne diese Vorbereitung leicht vorkommen, dass die Kieselerde mit den Alkalien und Erden zusammenschmilzt, wodurch natürlich die Form des Kieselskelettes mehr oder weniger zerstört wird. Das zu untersuchende Gewebe muss also, wenn die Darstellung des Kieselskelettes gelingen soll, eine vorbereitende Behandlung erfahren, welche die Verbrennung erleichtert und zugleich die Verletzung des Skelettes verhütet.

Mohl fand es am besten, zuerst in der Schulze'schen Flüssigkeit (NO_5 und $KO. ClO_5$) zu kochen, bis Entfärbung eintritt, und hierauf das Kali durch Auskochen in Wasser wieder vollständig zu entfernen. Er empfiehlt überdiess, das ausgekochte Präparat nachträglich noch mit Alcohol auszuziehen und fügt dann bei: »So zubereitet, brennt sich der Theil in den meisten Fällen auf einem Platinbleche über der Spirituslampe schon bei schwacher Glühhitze schnell blendend weiss. Ist das Präparat sehr zart, so lege man dasselbe auf ein Deckgläschen und glühe es mit diesem auf dem Platinbleche. Den geglühten Theil muss man natürlicherweise mit Salzsäure ausziehen, um die alkalischen und Erdsalze zu entfernen.«

443 Will man umgekehrt die Kieselerde ausziehen, um die zurückbleibende organische Grundlage zu untersuchen, so ist nach Mohl die Flusssäure das geeignetste Reagens. Dieselbe besitzt die vortreffliche Eigenschaft, die Kieselerde leicht zu lösen, ohne die Zellwandungen in bemerkbarer Weise anzugreifen. Kaustisches Kali löst zwar die Kieseleinlagerungen ebenfalls, wirkt aber auch auf die vegetabilische Membran und namentlich auf die Cuticularschichten bedeutend ein. Die Anwendung der Flusssäure geschieht am einfachsten in der Art, dass man gepulverten Flussspath und Schwefelsäure in ein verschliessbares Gefäss von Blei bringt und das mit Wasser benetzte Object in einem Platinlöffelchen mit einschliesst. Auf diese Weise gelang es Mohl, den Diatomeenschaalen ihre Kieselerde innerhalb 24 Stunden vollständig zu entziehen. Die einzige Vorsicht, die man dabei anzuwenden hat, besteht darin, das Präparat nicht eintrocknen zu lassen.

444 Die Entfernung der organischen Substanz durch die Verbrennung bewirkt je nach der Menge der eingelagerten Kieselerde eine

stärkere oder schwächere Contraction der Membranen. Bei geringem Kieselgehalt erreicht dieselbe nicht selten einen solchen Grad, dass die geglühten Membranen kaum noch die Hälfte ihrer ursprünglichen Flächenausdehnung besitzen. Damit ist für die Untersuchung der Uebelstand verbunden, dass die dünnen und schwach verkieselten Membranen, wenn sie mit einem stark verkieselten Theil, wie z. B. der Epidermis, in Verbindung stehen, bei der Einäscherung vielfach zerrissen und dann leicht übersehen werden. Dieselbe Ursache bedingt auch das Einrollen der Epidermis, weil die peripherischen Schichten sich durch einen grösseren Kieselgehalt auszeichnen.

Zur Orientirung für den Beobachter fügen wir schliesslich noch einige Beispiele bei, welche den Untersuchungen Mohl's entnommen sind. Soweit es möglich war, wurden dieselben so gewählt, dass die angeführten Pflanzen Jedermann zugänglich sind. 445

Die Epidermiszellen sind mehr oder weniger stark verkieselt am Stengel von Equisetum und Calamus, an vielen Blättern aus der Gruppe der nesselartigen Pflanzen, z. B. bei *Ulmus campestris*, bei *Celtis occidentalis* u. a. Arten, bei vielen Feigen, namentlich bei *Ficus Sycomorus* und *trachyphylla Fenzl*, bei *Deutzia scabra, grandiflora* etc. Wo die Epidermis mit hervorragenden Knötchen oder Haaren besetzt ist, sind oft nur diese verkieselt, so z. B. bei *Scirpus palustris* und *mucronatus* die Knötchen, bei *Ficus Joannis Boiss.*, *Urtica excelsa, lusitanica, hispida* und zum Theil auch *dioica* die Haare. In andern Fällen geht die Verkieselung an der Basis der Haare auf die Epidermis über und schreitet hier in concentrischen Kreisen fort, so dass jedes Haar von einer runden Kieselscheibe umgeben erscheint, so z. B. bei *Cerinthe aspera* und *minor*, *Echium vulgare, Lithospermum officinale, Helianthus tuberosus*.

Die Gefässbündel sind verkieselt in den Blättern von *Ficus Sycomorus, trachyphylla, elastica, Deutzia scabra, Magnolia grandiflora, Heliopsis laevis* etc. — Die Blattparenchymzellen sind verkieselt bei *Ficus Sycomorus, Fagus sylvatica, Quercus suber, Deutzia scabra, Phragmites communis*.

Verkieselte Cystolithen finden sich in den Blättern der *Ficus*-Arten, ferner bei *Morus alba*, bei mehreren Arten von *Parietaria* etc. — Ausfüllungen der Zellhöhlungen mit Porenzapfen kommen vor in der Nähe der Gefässe in den Blättern von *Hirtella racemosa Lam.*, *Davilla brasiliana Dc.*

2. Pflanzensäuren und Gerbstoffe.

446 Von den Säuren, welche gelöst in den Pflanzensäften vorkommen, sei es nun frei oder an Alkalien oder Erden gebunden, lassen sich im Allgemeinen nur die Gerbsäuren oder Gerbstoffe mikrochemisch nachweisen. Für die übrigen Säuren gewähren die bekannten chemischen Verfahren in den meisten Fällen einen höchst zweifelhaften Erfolg; sie sind auch bis jetzt, so viel wir wissen, zu mikroskopischen Zwecken nicht angewendet worden. In der Regel ist es nicht einmal möglich, das Vorhandensein einer beliebigen Säure im Safte unversehrter Zellen nachzuweisen, da eine Ausscheidung von Kohlensäure auf Zusatz von kohlensauren Alkalien selbst dann nicht erfolgt, wenn die Schnittflächen entschieden sauer auf Lakmuspapier reagiren. Die Anwendung der Lakmustinktur selbst aber ist bei lebenden Zellen nicht möglich, da der Farbstoff nur durch den todten Primordialschlauch diosmirt.

Wir beschränken uns desshalb auf den Nachweis der Gerbsäuren, deren Verhalten zu Eisenoxydsalzen in neuerer Zeit von verschiedenen Beobachtern verwerthet wurde. Die Gerbsäuren oder Gerbstoffe geben bekanntlich mit Eisenoxydsalzen einen blauschwarzen oder grünlichen Niederschlag und werden hienach als eisenbläuende und eisengrünende unterschieden. Diese Farben treten namentlich bei ersteren in so intensiven Tönen hervor, dass sie der Iodreaction auf Stärke an Sicherheit und Zuverlässigkeit kaum nachstehen. Die einzige Vorsicht, die man zu nehmen hat, besteht darin, die Lösung des Gerbstoffes im Präparatwasser oder das Diosmiren desselben in benachbarte Zellen zu verhüten. Diess geschieht am einfachsten dadurch, dass man die Schnitte unmittelbar in die Lösung des Eisensalzes legt und sogleich beobachtet, oder dass man zu den in Glycerin gelegten Schnitten rasch die Eisenlösung zusetzt.

447 So leicht übrigens die Gerbstoffe sich in Wasser lösen, so ist doch nicht zu befürchten, dass sie aus unversehrten Zellen so rasch ausgezogen werden. Diess geschieht im Gegentheil sehr langsam, indem z. B. die hellen rundlichen Gerbstoffmassen, wie sie in der Rinde von *Quercus*, *Populus*, *Betula* etc. vorkommen, selbst nach stundenlangem Liegen in Wasser wenigstens an den dickeren Stellen des Schnittes noch fast unverändert sind. Es ist daher überflüssig und schon wegen der Unbequemlichkeit nicht zu empfehlen,

die Schnitte vorher in Oel zu legen, wie Hartig*) es gethan, und hierauf die wässerige Lösung zuzusetzen. Man kann sich leicht überzeugen, dass das Präparat in Oel nicht anders aussieht, als in Wasser oder Glycerin, dass also in den letzteren Medien Nichts vom Inhalt verloren geht. Selbst wenn es sich um die Frage handelt, ob der Gerbstoff bloss gelöst im Zellinhalte vorkomme, oder ob er auch die Membranen durchdringe, gewährt die Anwendung von Oel keine grössere Sicherheit als die Beobachtung der Schnitte in wässeriger Lösung. Denn entweder diosmirt der Gerbstoff durch den lebenden Primordialschlauch und wird von der Membran in nachweisbarer Menge aufgenommen; dann muss sich die letztere durch Eisenchlorid bläuen, auch wenn man das Präparat zuerst in Wasser legt. Oder es findet keine Diosmose von Zelle zu Zelle oder wenigstens keine hinreichende Einlagerung statt, um eine deutliche Reaction hervorzurufen; dann bleiben die Membranen ungefärbt, wenn die Schnitte sogleich mit dem Reagens benetzt werden, wie man diess z. B. an den gerbstoffreichen Rinden von Quercus und Populus beobachtet. Die Membranen der gebläuten Zellen bleiben hier vollkommen farblos, wenn das Eisenchlorid dem frischen Präparat zugesetzt wird; sie färben sich dagegen blau, wenn man dasselbe stundenlang in Wasser liegen lässt und dadurch eine Diosmose herbeiführt, wie sie in der lebenden Rinde nicht stattfindet.

Sanio empfiehlt (Bot. Ztg. 1863, p. 17) statt eines Eisenoxyd- 448
salzes das doppelt chromsaure Kali als Reagens auf Gerbstoffe. Dasselbe soll namentlich den Vortheil gewähren, dass es mit dem Gerbstoff eine Verbindung eingeht, welche sich in einem Ueberschuss des Salzes nicht löst und dabei durch die rothbraune Färbung doch deutlich genug in die Augen fällt. Sanio tränkt ganze Aststücke, welche er vorher 12 Stunden austrocknen liess, mit einer verdünnten Lösung des genannten Reagens und untersucht nachher das Gewebe auf beliebig geführten Durchschnitten. Wir haben dieses Verfahren selbst nicht geprüft, doch scheint uns die Behandlung frischer Schnitte mit Eisenchlorid wenigstens für saftige Gewebe den Vorzug zu verdienen.

Ueber das Vorkommen der Gerbstoffe mögen dem Beobachter, 449
der sich mit einschlägigen mikrochemischen Fragen zu beschäftigen gedenkt, folgende Andeutungen genügen. Die Gerbstoffe finden sich theils gelöst im wässerigen Zellinhalt, theils in hellen ölartigen Mas-

*) Hartig, Bot. Ztg. 1865. Nr. 7.

sen, welche jedenfalls aus einer viel concentrirteren Lösung bestehen und überdiess durch eine Plasmahaut von dem übrigen mit Chlorophyll und wässerigem Zellsaft ausgefüllten Theil des Zelllumens geschieden sind. Die erste Art des Vorkommens beobachtet man in Knospen, in Blattgebilden, welche später oder gleichzeitig Anthocyan enthalten, hie und da auch in den langen Zellen der Gefässbündel, in unreifen Früchten etc. Der Gerbstoff durchdringt hier in manchen Fällen auch die Membran und scheint demnach von Zelle zu Zelle zu diosmiren. Die zweite Art des Vorkommens charakterisirt die gerbstoffhaltigen Rinden von *Quercus, Populus, Betula* u. a. Hier bleibt der Gerbstoff, ähnlich wie die Stärke, eingeschlossen in den Zellen, in denen er sich gebildet hat; er kann nur weitergeführt werden, nachdem er vorerst eine Umwandlung erfahren. Auf Zusatz von Wasser zerfallen die ölartigen Gerbstoffmassen in kleine Kugeln oder Körnchen, welche ein undurchsichtiges Conglomerat bilden; nach längerer Einwirkung erfolgt Lösung. Beim Austrocknen schrumpfen sie auf einen kleinen Theil ihres früheren Volumens zusammen und bilden dann nur noch ein verhältnissmässig dünnes, nach innen unregelmässig vorspringendes Wandbeleg. Die blaue Färbung, welche Eisenchlorid hervorruft, nimmt zuletzt einen braunen Ton an, woraus hervorgeht, dass neben dem eisenbläuenden Gerbstoff noch irgend eine andere Substanz oder ein anderer weniger empfindlicher Gerbstoff in den erwähnten ölartigen Massen vorkommt *). Näheres hierüber bleibt zu ermitteln.

---

*) Diese Angaben stützen sich auf eigene Beobachtungen, welche speciell zu dem Zwecke angestellt wurden, die Mittheilungen Hartig's über das »Gerbmehl« (Bot. Ztg. 1865. Nr. 7) zu prüfen. Hartig bezeichnet die oben als zweite Art des Vorkommens aufgeführte Form als amorph und führt ausserdem noch drei andere Zustände auf, in welchen der Gerbstoff vorkommen soll, nämlich den körnigen, den krystallinischen und den Wandungszustand. Wir können indess die hierauf bezüglichen Angaben nicht bestätigen. Der körnige Zustand erwies sich als kleinkörnige Stärke, welche allerdings etwas Gerbstoff aus dem Zellsaft aufgenommen haben musste, da sie sich mit Eisenchlorid schwachblau färbte, aber dessenungeachtet nicht zu verkennen war. Wir sahen in gleicher Weise Kartoffelstärke, die wir mit verdünnter Gerbstofflösung getränkt hatten, auf Zusatz von Eisenchlorid sich theilweise ebenso intensiv blau färben, und dieselbe Erscheinung kann man auch an Membranen, z. B. sehr schön an Collenchymzellen, beobachten. Die Blaufärbung ist also noch kein Beweis, dass das fragliche Object aus Gerbstoff bestehe. Der krystallinische Zustand ist nach Hartig selbst noch problematisch, da hier die Gerbstoffreaction sehr zweifelhaft ausfiel. Wir halten diesen Zustand für oxalsauren Kalk und zwar für jene monoklinische Form desselben, welche neuerdings von Holzner (Flora 1864) genau untersucht wurde. Was endlich den Wandungszustand betrifft, so dürfte die Vermuthung ge-

Nach Wigand*) sind die Gerbstoffe gewissermaassen als Chromogene zu betrachten; sie finden sich in allen Zellen, welche in einer etwas späteren Entwicklungsperiode rothe oder blaue Farbstoffe enthalten und kommen auch noch neben diesen in den Zellen vor, so z. B. bei jungen Blumenblättern und bei der herbstlichen Entfärbung der Laubblätter. Wir haben diese Angaben an einigen Beispielen, die sich auf die rothe Färbung der Blätter beziehen, geprüft und können dieselben bestätigen. Was indess die Reaction auf Zellen betrifft, welche bereits Erythrophyll enthalten, so ist bezüglich der Deutung eintretender Farbenveränderungen jedenfalls Vorsicht zu empfehlen, da es zweifelhaft sein kann, inwieweit dieselben von dem vorhandenen Gerbstoff, und nicht etwa vom Farbstoff, herrühren. Der Beobachter muss wissen, ob das als Reagens angewendete Eisenoxydsalz neutral, sauer oder alkalisch reagirt und darf im letzteren Falle nicht versäumen zu prüfen, ob die Bläuung im angesäuerten Präparatwasser in gleicher Weise stattfindet. 450

Wigand fand ferner, dass zwischen Gerbstoff und Stärke eine gewisse Wechselbeziehung besteht, in dem Sinne, dass in gewissen Zellen immer zuerst Gerbstoff und erst später Stärke auftritt, oder dass ein periodisch wiederkehrender Wechsel stattfindet, indem der Gerbstoff gegen das Ende der Vegetationsperiode abnimmt und das Stärkemehl zunimmt. Im Winter soll der erstere sein Minimum, das letztere sein Maximum erreichen.

Der Gerbstoff ist bis jetzt vorzugsweise in baum- und strauchartigen Gewächsen nachgewiesen worden; er scheint indess auch bei krautartigen, namentlich bei perennirenden, nicht gerade selten zu sein. Rochleder erwähnt denselben beispielsweise bei den Dryadeen (Fragaria, Potentilla etc.), den Gentianeen, Primulaceen, Sileneen etc., und es ist vorauszusehen, dass weitere Untersuchungen die Beispiele noch bedeutend vermehren werden. Die Gerbstoffe haben zweifelsohne eine viel grössere Verbreitung, als man ihnen früher zuzuschreiben geneigt war. — Die Vertheilung im Gewebe betreffend, so hält es schwer, hiefür ein durchgreifendes Gesetz aufzustellen. Man findet dieselben vorzugsweise in der Rinde, im jungen Holz, 451

stattet sein, dass er mit verdickten Wandungen, die etwas Gerbstoff enthalten, identisch sei. Wir bemerken übrigens, dass wir an den von Hartig erwähnten porös-dickwandigen Zellen von Salisburia die Gerbstoffreaction gar nicht beobachteten.

*) Bot. Ztg. 1862. p. 123 ff.

in den dünnwandigen Zellen der Gefässbündel und in der Markscheide, hie und da aber auch in zerstreuten Zellen im Marke (z. B. bei *Cissus*) und ziemlich häufig im Gewebe der Blätter, Blumen und Früchte. Nicht selten finden sich zwei verschiedene Gerbstoffe neben einander in der nämlichen Zelle, was sich durch eine mehr oder minder deutliche Veränderung des Farbentons während der Einwirkung des Eisenoxydsalzes kundgibt. Man beobachtet z. B. hie und da (so bei *Vinca*), dass rothe Zellen zuerst violett und dann spangrün werden und sich hierauf durch Töne, die wieder allmählich mehr ins Blaue gehen, entfärben. Solche Veränderungen setzen die Gegenwart zweier oder mehrerer Gerbstoffe voraus, von denen der eine etwas früher als der andere zu reagiren beginnt, so dass die resultirenden Farben sich in immer wechselndem Verhältnisse mischen.

452 Die von Schleiden ausgesprochene Ansicht, dass die Gerbstoffe nur in absterbenden Zellen vorkommen und also ein Product der Zersetzung seien, bedarf nach dem Vorhergehenden keiner Widerlegung. Doch wollen wir nicht unerwähnt lassen, dass Gerbstoffe immerhin als Zersetzungs- oder Rückbildungsproducte vorkommen können. Wir beobachteten z. B. an absterbenden oder bereits abgestorbenen Spirogyren, wie man sie im trocken gelegten Schlamme von Teichen und Tümpeln etc. findet, in manchen Zellen eine sehr entschiedene Bläuung auf Zusatz von Eisenchlorid. Die Färbung zeigte sich am häufigsten an den Plasmamassen des Inhalts, zuweilen aber auch an Querwänden, welche, wie wir annehmen, den ihnen im gelösten Zustande gebotenen Gerbstoff in grösserer Menge eingelagert hatten. *) Solche Fälle mögen auch bei höheren Pflanzen hie und da vorkommen.

3. Glycoside.

453 Unter den Reactionen, welche man in chemischen Lehrbüchern für gewisse Glycoside angegeben findet, müssten wohl manche auch unter dem Mikroskop sich anwenden lassen. Bis jetzt hat diess aber, soviel wir wissen, noch Niemand versucht. Hartig (Bot. Ztg. 1863, p. 413) gibt zwar an, dass sich im Cambium und wahrscheinlich auch im Siebfasergewebe der Tanne ein dem Salicin ähnlicher Stoff, das Abietin, in Lösung befinde, welcher mit concentrirter Schwefelsäure

---

*) Die Membranen der Spirogyren (sowie viele andere) haben eine so grosse Affinität zu Gerbstoff, dass wenn man dieselben in verdünnte Gerbstofflösung bringt und dann Eisenchlorid zusetzt, sie eine tiefblaue Färbung annehmen.

sich blauviolett färbe (während das Salicin durch Schwefelsäure roth wird) und auf Zusatz von Wasser einen blauen, in Alkohol löslichen Niederschlag bilde. Er scheint aber diese Reactionen nur am ausgepressten Saft und auf grösseren Querschnitten mit blossem Auge beobachtet zu haben. Dasselbe gilt von den Beobachtungen Böhm's*) an »Chromogendecocten«, welche beim Abschluss der Luft von noch ungefärbten Pflanzentheilen bereitet wurden, und deren Verhalten zu Schwefelsäure an die genannten Glycoside erinnert.

Bei dem vereinzelten Vorkommen der Glycoside und bei der vollständigen Unkenntniss der Rolle, die sie im Haushalt der Pflanze übernehmen, ist es übrigens gerechtfertigt, wenn die Mikroskopiker zunächst den allgemeineren Producten des vegetabilischen Lebensprocesses, deren physiologische Bedeutung in den Hauptzügen bereits bekannt ist, ihre Aufmerksamkeit widmen.**)

4. Farbstoffe.

Die Farbstoffe zeigen dem Mikroskopiker vier wesentlich ver- 454
schiedene Arten des Vorkommens: als Lösungen im wässerigen Zellsaft, als Lösungen in fetten oder ätherischen Oelen, als Einlagerungen in der Zellmembran und als Einlagerungen in Plasmagebilden. Ueberdiess kommt bei den Flechten noch der besondere Fall vor, dass gelbe Farbstoffe an Körnchen von unbekannter Zusammensetzung haften, welche an der Oberfläche der Membranen adhäriren oder zwischen die Zellen eingelagert sind.

Zu den Farbstoffen des Protoplasmas gehören zunächst diejenigen, welche mit dem Assimilationsprocess im Zusammenhang stehen, wie das Chlorophyll, das Phycochrom und die verwandten Pigmente der Florideen und Diatomeen, sodann das Anthoxanthin der gelben Blumen, dessen Rolle im Lebensprocess unseres Wissens experimentell nicht festgestellt ist. Die nämlichen Farbstoffe kommen ausnahmsweise auch als Lösungen in Oelen vor. Im Zellinhalte gelöst finden sich die rothen und blauen Farbstoffe der Blumen und Blätter, die man als Anthocyan und Erythrophyll zu unterscheiden pflegt, endlich eingelagert in den Membranen verschiedene nicht

*) Sitzungsber. der kais. Akad. der Wiss. in Wien, Bd. 45. 3. Abth. p. 404 und 405.

**) Ueber die mögliche Rolle der Glycoside im Organismus vgl. Rochleder, Phytochemie p. 327, sowie die Bemerkungen von Sachs über die dort geltend gemachten Anschauungen in dessen »Experimentalphysiologie der Pflanzen« p. 359.

näher bekannte Pigmente, welche vom intensivsten Roth bis zum tiefsten Violett alle Farben des Spectrums zeigen.

a) Farbstoffe, welche eingelagert im Plasma vorkommen.

455 Der grüne oder rothe Farbstoff, welcher in den assimilirenden Zellen vorkommt, ist stets mit einer organischen Grundlage von Plasma und Wachs (?) verbunden und zwar in so verschwindend geringer Menge, dass man nach dem Ausziehen des Farbstoffes aus den grünen Körnern oder Plasmamassen keine Veränderung des Volumens oder der Dichtigkeit beobachtet. Es wird angegeben, dass die Blätter eines ganzen Baumes kaum die zu einer Elementaranalyse nöthige Menge reines Blattgrün liefern, und wahrscheinlich besteht ein ähnliches Verhältniss auch für die übrigen, dem Blattgrün verwandten Farbstoffe.

Von den genannten Farbstoffen ist nur das Chlorophyll isolirt und makrochemisch untersucht worden, aber auch hievon existiren bis jetzt nur wenige und nicht ganz übereinstimmende Elementaranalysen. *) Bei der üblichen Darstellungsweise kommen überdiess so kräftige Mittel in Anwendung, dass es zweifelhaft erscheint, ob der Farbstoff dabei nicht irgend eine Veränderung erleide. Wie dem auch sei, das rein dargestellte Chlorophyll ist amorph, unlöslich in Wasser, in verdünnten Säuren und Alkalien, löslich in Weingeist, Aether, sowie in ätherischen und fetten Oelen — und in all' diesen Eigenschaften stimmt es mit dem unveränderten Chlorophyll überein. Die grün gefärbte salzsaure Lösung wird durch Einlegen von metallischem Zink entfärbt, gelblich, und beim Abdampfen auf dem Wasserbad wieder grün, eine Erscheinung, welche auf das Vorhandensein eines farblosen Chromogens hindeutet. Damit stimmt überein, dass auch das unveränderte Chlorophyll in bleichsüchtigen Pflanzen

---

*) Nach Mulder ist die chemische Formel des Chlorophylls $C_{18}NH_9O_8$; es würde also hienach ein Aequivalent Stickstoff enthalten. Damit steht indess eine neuere Analyse von Pfaundler (Ann. Chem. u. Pharm. v. Liebig u. Wöhler CXII. p. 37) im Widerspruch. Dieselbe ergab auf 100 Theile reinen Farbstoffes 0,037, also eine so geringe Menge von Stickstoff, dass dieser kaum als wesentlicher Bestandtheil zu betrachten sein dürfte. Nach den Untersuchungen von Verdeil, Gris, dem Fürsten von Salm-Horstmar, von Pfaundler und Sachs, welche das übereinstimmende Ergebniss lieferten, dass die Gegenwart des Eisens für das Ergrünen der Pflanzen nothwendige Bedingung sei, indem künstlich herbeigeführter Eisenmangel die Chlorose erzeugt, ist es dagegen wahrscheinlich, wenn auch keineswegs erwiesen, dass das Chlorophyll eine geringe Menge von Eisen enthält.

unter der Einwirkung des Sonnenlichtes so rasch zum Vorschein kommt, dass die Bildung desselben aus einem bereits vorhandenen farblosen Stoff (Leukophyll) wahrscheinlich ist. Durch die Versuche von Sachs (Flora 1862, p. 129) wurde überdiess dargethan, dass in Zellen, welche später Chlorophyll enthalten, und nur in solchen, durch concentrirte Schwefelsäure augenblicklich eine intensiv spangrüne Färbung entsteht, ganz so, wie man sie an farbigen Chlorophyllkörnern beobachtet. Die Plasmapartieen, welche sich später grün färben, enthalten hienach bereits einen farblosen Stoff (Chromogen), welcher gegen Schwefelsäure wie Chlorophyll reagirt. *)

Die weiteren Reactionen, welche sich unter dem Mikroskop beobachten lassen, sind nicht sehr charakteristisch; doch zeigen sie immerhin, dass das Chlorophyll etwas weniger veränderlich ist als das Phycochrom. Es behält in verdünnten Alkalien eine freudiggrüne Farbe, wird in verdünnten Säuren (SO_3, ClH, NO_5, PO_5) schmutzig gelbgrün bis goldgelb, nimmt dagegen in concentrirter Salzsäure oder Schwefelsäure einen blaugrünen, zuweilen fast indigoblauen Ton an.

Das Phycochrom unterscheidet sich vom Chlorophyll durch seine grössere Veränderlichkeit und durch die blaugrüne bis indigoblaue Farbe, die es gewöhnlich in lebenskräftigen Zellen besitzt. Diese blaugrüne Farbe scheint übrigens nur ein bestimmtes Entwicklungsstadium zu charakterisiren, da man sie in Zellfäden, wo die Reihenfolge der Zellgenerationen bekannt ist, weder in den jüngsten noch in den ältesten Zellen beobachtet. Bei den Algenfäden aus der Gruppe der Scytonemeen (Scytonema Heerianum Näg. u. a.) erscheint die Scheitelzelle und die nächstliegenden Gliederzellen, also die Region, in welcher Neubildung von Phycochrom stattfinden muss, stets 456

---

*) Nach Frémy (Ann. des sc. nat. 1860, XIII, p. 45) hätten indess diese Erscheinungen einen tiefer liegenden Grund. Nach ihm besteht der grüne Farbstoff aus einem Gemenge zweier Verbindungen, wovon die eine für sich allein gelb, die andere blau erscheint. Erstere bezeichnet er als Phylloxanthin, letztere als Phyllocyanin. Die Trennung derselben geschieht, indem man durch Weingeist ausgezogenes Chlorophyll mit einer Mischung von zwei Raumtheilen Aether und einem Theil verdünnter Salzsäure schüttelt; das Phyllocyanin bleibt alsdann in der Salzsäure, das Phylloxanthin im Aether gelöst. In vergeilten oder noch nicht grün gewordenen Blättern ist nun nach Frémy bloss Phylloxanthin vorhanden, und da das letztere, seinen Angaben zufolge, durch Behandlung in Aether und Salzsäure theilweise in blauen Farbstoff übergeführt wird, so würde sich hieraus die von Sachs beobachtete Reaction erklären.

röthlich bis ziegelroth; dieser Ton geht dann allmählich in Blaugrün über und wird in den ältesten Zellen bräunlich oder braunorange. — Bei den Flechten mit blaugrünen Gonidien ist diese Farbe in den jüngsten Theilen des Thallus in der Regel am schönsten entwickelt und geht in tiefer liegenden Schichten des Thallus oder in Thallusschuppen, die von anderen bedeckt sind, in Schmutziggelb bis Braunorange über. Diese letztere Farbe kann sich aber auch auf den ganzen Thallus erstrecken (Ephebe, Spilonema etc.), in welchem Falle es indess zweifelhaft ist, ob die untersuchten Exemplare den lebenskräftigen Zustand der Pflanze repräsentirten.

Das blaugrüne Phycochrom wird durch Kalilösung gelbgrün bis goldgelb oder bräunlich-gelb, durch Salzsäure gelborange, schmutzigorange bis ziegelroth. Das bereits entfärbte gelbliche Phycochrom der älteren Zellen erfährt dagegen weder in Säuren noch Alkalien eine augenfällige Veränderung, sondern erhält bloss einen etwas helleren oder mehr braunen Ton. In Betreff der Löslichkeit stimmt das Phycochrom mit dem Chlorophyll überein.

Dass Phycochrom und Chlorophyll nahverwandte Stoffe sind, lässt sich trotz der angeführten Verschiedenheiten kaum bezweifeln, da schon das Vorkommen unverkennbar auf diese Verwandtschaft hindeutet. Man findet bei den Flechten innerhalb der nämlichen Gattung (so bei *Sticta, Endocarpon* und *Pannaria*) Arten mit blauem Phycochrom und solche mit gelbgrünem Chlorophyll. Aehnliche Fälle werden auch bei den einzelligen Algen angeführt; nur ist hier die angebliche Verwandtschaft der Chlorophyll-führenden mit den Phycochrom-führenden Arten nicht allgemein anerkannt und unseres Erachtens auch mindestens zweifelhaft.

457 Das Phycoerythrin oder der rothe Farbstoff der Florideen schliesst sich in seinem Verhalten gegen Reagentien zunächst an das Phycochrom an, da es mit diesem die grosse Veränderlichkeit gemein hat. Durch Kali und Ammoniak wird dasselbe blass olivengrünlich, fast farblos; Säuren stellen die rothe Farbe wieder her, jedoch meistens mit einem mehr violetten Ton. Concentrirte Schwefelsäure verändert die Farbe nicht. — In älteren oder absterbenden Zellen tritt die grünliche Färbung von selbst ein; man beobachtet sie hie und da an noch lebenden Pflanzentheilen, aber namentlich häufig an solchen, welche an den Strand geworfen wurden oder an Ort und Stelle im Absterben begriffen sind.

Das Phycoerythrin ist, wie das Phycochrom und das Chloro-

phyll, an Plasma gebunden und kommt meistens in Körnern vor, welche in Form und Grösse mit den Chlorophyllkörnern übereinstimmen. Aber nicht alle Bildungen dieser Art, welche sich durch eine rothe Färbung auszeichnen, sind Phycoerythrin. Schon Kützing (Philos. Bot. p. 166) gibt an, dass *Rytiphlaea tinctoria* durch einen Stoff gefärbt sei, welcher durch Wasser ausziehbar, in Alkohol und Aether aber unlöslich sei; Aetzammoniak verschönere die Farbe und Säuren verwandeln sie in Hellroth-orange. Wir haben das Verhalten gegen Säuren und Alkalien an getrockneten Exemplaren geprüft und diese Angaben richtig gefunden. Die Farbe ging auf Zusatz von Salpetersäure in Braungelb bis Orange über, Kali stellte das ursprüngliche Rothviolett verschönert wieder her. Ein abermaliger Zusatz von Säure färbte das Präparat wieder Orange und Kali rief zum zweiten Mal das Violett zurück.

Das Diatomin oder der braungelbe Farbstoff der Diatomeen 458
wird durch Alkalien und verdünnte Säuren grünlich, durch concentrirte Schwefelsäure schön spangrün. Eisenchlorid bewirkt keine Veränderung.

Zu den Farbstoffen, welche an Plasma gebunden im Zellinhalt 459
vorkommen, gehört endlich noch das Blumengelb oder Anthoxanthin.*) Es reiht sich zunächst an das entfärbte Chlorophyll, das sogenannte Xanthophyll**) an, welches bekanntlich die gelbe Farbe absterbender Blätter, sowie die Winterfarbe mancher perennirender Blätter bedingt. Das Anthoxanthin wird weder durch Alkalien noch durch verdünnte Salzsäure, Phosphorsäure oder verdünnte Schwefelsäure verändert, durch Salpetersäure dagegen grünlich gefärbt und dann farblos. In concentrirter Schwefelsäure geht es durch Grün in ein schönes Blau (dem Berlinerblau ähnlich) über, wird je-

*) In einigen wenigen Fällen rührt die gelbe Färbung der Blüthen nach Hildebrand (Pringsheim's Jahrb. für wiss. Bot. Bd. III. p. 6) von einem gelben Zellsafte her, wie z. B. bei den gelben Varietäten von *Dahlia variabilis*, in anderen Fällen von einer dickflüssigen gelben Substanz, die vom farblosen Zellsaft deutlich abgegrenzt erscheint, so z. B. bei einigen Arten von Acacia. Ueber die chemische Natur dieser gelben Säfte ist leider nichts Näheres mitgetheilt.

**) Nach den oben erwähnten Angaben Frémy's wäre das Xanthophyll identisch mit dem von ihm als Phylloxanthin bezeichneten gelben Bestandtheil des Chlorophylls. Bei der herbstlichen Entfärbung der Blätter soll nämlich bloss das Phyllocyanin verschwinden, indess das Phylloxanthin zurückbleibt.

doch durch blosses Auswaschen der Säure wieder gelb. Zum zweiten und dritten Mal mit Schwefelsäure behandelt und wieder ausgewaschen zeigt es immer wieder den nämlichen Farbenwechsel und zwar mit ungeschwächter Intensität. Dagegen haben Präparate, welche durch Salpetersäure entfärbt wurden, die Fähigkeit, sich durch Schwefelsäure zu bläuen, verloren. Die Salpetersäure verursacht hienach eine bleibende Veränderung, sei es in der Molecularconstitution oder in der chemischen Zusammensetzung.

b) Farbstoffe, welche im Zellsaft gelöst vorkommen.

460 Die Farbstoffe, welche die blaue oder rothe Färbung der Blumen und die rothe Färbung der Blätter bedingen, sind mit wenigen Ausnahmen *) im wässerigen Zellsaft gelöst; sie bleiben aber dessenungeachtet in den Zellen, in denen sie entstanden sind, weil der lebende Primordialschlauch dieselben nicht diosmiren lässt. In ihrem Verhalten gegen die gewöhnlichen chemischen Reagentien zeigen die verschiedensten Nuancen, vom Scharlachroth des Papaver Rhocas bis zum Blau der Gentianen, eine so grosse Uebereinstimmung, dass die Annahme identischer Zusammensetzung jedenfalls gerechtfertigter ist, als die übliche Unterscheidung von Erythrophyll und Anthocyan. Diese Uebereinstimmung spricht sich namentlich in der Reaction gegen Säuren und Alkalien aus. Verdünnte Säuren bewirken durchgehends eine Veränderung des Farbentons in der Richtung von Blau nach Roth, womit zugleich gesagt sein soll, dass Zellsäfte, welche bereits roth sind, keine Veränderung erfahren. Alkalien bedingen dagegen den umgekehrten Farbenwechsel; sie führen das

*) Eine schon lange bekannte und mehrfach erwähnte Ausnahme bildet *Strelitzia Reginae*, deren innere Perigonalblätter ihre dunkelblaue Färbung zahlreichen blauen Körnchen verdanken, welche dicht gedrängt im farblosen Zellsafte schwimmen. Ein ähnliches Verhalten fand Hildebrand (Pringsheim's Jahrb. III. pag. 3) bei den Blüthen von *Tillandsia amoena*, wo die indigoblaue Färbung der Perigonzipfel von kugelförmigen blauen Körpern herrührt, welche einzeln oder seltener zu mehreren beisammen in den Zellen enthalten sind. Diese Kugeln reagiren übrigens, den Angaben Hildebrand's zufolge, wie Anthocyan; auch wird angegeben, dass bei einer anderen gleichgefärbten Pflanze derselben Familie (*Billbergia iridifolia*) die blaue Färbung in gewohnter Weise durch den blauen Zellsaft bedingt sei. Unter diesen Umständen ist zu vermuthen, dass diese blauen Kugeln den Farbkrystalloiden verwandte Bildungen darstellen. Dieselbe Vermuthung dürfte vorläufig auch für die violetten und rothen Farbkörperchen gerechtfertigt sein, welche Hildebrand bei *Amorpha fruticosa*, *Gilia tricolor*, *Verbena chamaedrifolia* etc. beobachtete. Die Sache verdiente übrigens, gerade mit Rücksicht hierauf, eine specielle Untersuchung.

Roth durch Violett, Blau in Grün bis Gelblichgrün oder Gelb über, wobei nach längerer Einwirkung zugleich Entfärbung stattfindet.

Wir müssen bei diesem letzteren Punkt, weil hierüber die An- 461
gaben neuerer Beobachter sich theilweise widersprechen, einen Augenblick verweilen. Wiesner (Bot. Ztg. 1862. p. 389) stellt den Satz auf, dass das Anthocyan als solches sich durch Alkalien blau, niemals grün, färbe. Wo die grüne Färbung zu Stande komme, rühre dieselbe von eisengrünendem Gerbstoff her, welcher durch Alkalien gelb werde; dieses Gelb des Gerbstoffes mische sich mit dem Blau des Anthocyans und bilde Grün. Hingegen bemerkt er ausdrücklich, dass die Gegenwart von eisenbläuendem Gerbstoff die Reaction des Anthocyans so gut wie gar nicht modificire. Wir können diese Angaben nicht bestätigen. Der Uebergang der rothen Farbe durch Blau in Grün ist nach unseren Beobachtungen eine das Anthocyan charakterisirende Erscheinung, welche nicht erst durch eisengrünenden Gerbstoff hervorgerufen wird. Es kann allerdings vorkommen, dass die Entfärbung, die gewissermaasen vom Farbenwechsel unabhängig zu sein scheint, schon eintritt, ehe das Grün erreicht ist. So werden z. B. die rothen Zellen im Fruchtfleisch von Solanum spec. (Art mit dunkeln Beeren) durch Ammoniak und verdünnte Kalilösung hellblau und entfärben sich, ohne den Farbenton zu wechseln. Legt man aber die Schnitte in ziemlich concentrirte Kalilösung, so geht das Roth in den meisten Zellen in ein schönes Spangrün über, und das ganze Präparat sieht für das blosse Auge intensiv grün aus. Die Entfärbung tritt in diesem Falle, wie wir annehmen, relativ später ein. Dass die grüne Färbung nicht etwa von eisengrünendem Gerbstoff herrührt, zeigt das Verhalten der rothen Zellen gegen Eisenchlorid; das letztere färbt reinblau, und diese Farbe bleibt während der Entfärbung unverändert. — Die nämliche Reaction zeigen auch die Blumenblätter der Gentiana verna. Wir sahen dieselben durch Alkalien grün werden, obschon der Gerbstoff, welcher nebst Anthocyan in den Zellen vorkommt, ein eisenbläuender ist. Legt man Stücke von Blumenblättern in eine verdünnte Lösung von Eisenchlorid, so färben sie sich zuerst violett und roth (weil das Eisenchlorid sauer reagirt); dann bildet sich der den Gerbstoff verrathende schmutzigblaue Niederschlag, welcher endlich durch das überschüssige Eisenchlorid wieder gelöst wird. Man kann diese Stadien an der nämlichen Zelle nach einander beobachten, man sieht sie aber auch

gleichzeitig neben einander am nämlichen Blumenblatt und zwar um so schöner, je langsamer die Einwirkung.

Wäre in diesen beiden Fällen eisengrünender Gerbstoff neben dem eisenbläuenden in den Zellen enthalten, so müsste sich derselbe durch eine entsprechende Veränderung des Farbentons kundgeben, wie man diess an andern Pflanzen auch wirklich beobachtet. Als Beispiel hiefür sei *Vinca herbacea* erwähnt. Die violette Zellflüssigkeit der Blumenblätter (welche durch Kalilösung intensiv grün wird) färbt sich auf Zusatz von Eisenchlorid zuerst roth. Nach einiger Zeit beginnt die Gerbstoffreaction. Das Roth wird momentan schön-violett, dann schmutzig-violett, hierauf intensiv spangrün, nach und nach blasser und mehr bläulich, endlich farblos. In andern Zellen ging das Violett der ersten Einwirkung durch ein allmählich schwächer werdendes Blau in Farblos über, oder es wurde zuerst fast blau und dann schmutzig-spangrün und hierauf durch bläulichgrün farblos. Diese Farbenerscheinungen erklären sich durch die Annahme, dass eisenbläuender und eisengrünender Gerbstoff neben einander, aber in wechselndem Verhältniss im Zellsafte enthalten sind, dass der eisenbläuende zuerst reagirt und überdiess weniger leicht gelöst wird.

Weitere Belege dafür, dass die Grünfärbung in Alkalien nicht durch eisengrünenden Gerbstoff hervorgerufen sein kann, bieten die Blumenblätter von *Orobus vernus*, *Phlox*, *Daphne Cneorum* und die oberflächlichen Zellen rother Aepfel und süsser Kirschen. *Orobus vernus* wird durch Eisenchlorid zuerst roth und entfärbt sich dann ohne Gerbstoffreaction; die übrigen führen nur eisenbläuenden Gerbstoff. Alkalien rufen jedoch durchgehends eine entschieden grüne Färbung hervor.

462 Die Fälle betreffend, in welchen die rothe Farbe, den Angaben Wiesner's zufolge, durch Alkalien ganz abweichende Veränderungen erfährt, indem sie beispielsweise durch Blau in Schmutzigroth und Gelb übergeht, so hatten wir nicht Gelegenheit, alle von Wiesner angeführten Beispiele zu untersuchen. Für *Pelargonium zonale* können wir indess seine Angaben nicht bestätigen. Die Abweichung reducirte sich hier darauf, dass bei der Entfärbung, welche constant von Scharlachroth durch Violett und Blau stattfand, eine Ueberführung in Grün durch Anwendung einer stärkeren oder schwächeren Lösung allerdings nicht gelang. Der schwache gelbliche Ton, welcher zuletzt noch zurückbleibt und in der Nähe der Gefässbündel

etwas verstärkt erscheint, rührt offenbar nicht vom Farbstoff her, da er auch in weissen Blumenblättern ganz ebenso auftritt.

Die Farbenänderung, welche der rothe Farbstoff in alkalischen Medien zeigt, bleibt gewöhnlich bei Blau stehen, wenn die Einwirkung nur eine sehr schwache ist. So wird z. B. der rothe Farbstoff der Kirschen an der Luft blau, weil das in letzterer enthaltene Ammoniak die im Zellsaft gelösten Säuren neutralisirt, aber weiter keine Veränderung hervorruft. Angesäuertes Wasser stellt die rothe Farbe wieder her.

Woher es kommt, dass gewisse Farbstoffe unter keinen Umständen in Grün übergehen, wollen wir dahingestellt sein lassen. Soviel ist jedoch sicher, dass die grüne Färbung in vielen Fällen eintritt, wo die Gegenwart von eisengrünendem Gerbstoff sich nicht nachweisen lässt.

c) Farbstoffe, welche ursprünglich im Zellsaft gelöst sind und später von den Membranen gespeichert werden.

Untersucht man die verschiedenen Farbhölzer, welche zu technischen Zwecken verwendet werden, unter dem Mikroskop, so erscheinen die Zellwandungen durchgehends gefärbt. Der nämliche Farbstoff findet sich aber auch im Inhalt der Markstrahlen und stellenweise auch der Holzzellen. Da nun kein Beispiel bekannt ist, dass Pigmente, die in den Membranen entstehen, sich später auch im Inhalte anhäufen, der umgekehrte Fall dagegen nachgewiesenermaassen oft vorkommt, so ist es wahrscheinlich, dass die ursprüngliche Bildungsstätte auch bei den genannten Farbhölzern im Zelllumen zu suchen ist. Wir bemerken übrigens, dass das gewöhnliche Material, wie es durch den Handel bezogen wird, zur Lösung der Frage nicht ausreicht; die endgültige Entscheidung derselben bleibt in jedem gegebenen Falle der Untersuchung frischer Materialien vorbehalten. 463

Farbstoff von Rubia tinctorum.

Frische Krappwurzeln erscheinen im Querschnitt, wie schon Decaisne nachgewiesen, stets gelb, nie roth, und die mikroskopische Untersuchung zeigt, dass die meisten Rindenzellen eine gelbe Flüssigkeit enthalten, welche bei Luftzutritt sich rasch trübt und dann jene rothen Flocken bildet, wie man sie auf Durchschnitten durch die trockene Wurzel beobachtet. Es ist leicht, sich hievon durch den ersten besten Querschnitt einer frisch ausgegrabenen Wurzel zu überzeugen. Wir können hinzufügen, dass der gelbe Farbstoff sich ursprünglich nur gelöst im Zellinhalte findet, indem die jungen Wur- 464

zeln stets vollkommen farblose Membranen besitzen. Die Färbung der letzteren beginnt erst später, wahrscheinlich in Folge einer Veränderung, vermöge welcher sie den Farbstoff zu speichern vermögen. Dafür spricht wenigstens die Thatsache, dass man in älteren Wurzeln häufig lebenskräftige Zellen beobachtet, deren Primordialschlauch sich auf Zusatz von Glycerin contrahirt und deren Membranen ziemlich intensiv gefärbt sind.

465 Das Verhalten des Krappfarbstoffes gegen chemische Reagentien ist bekannt. Kali färbt ihn purpurroth und bewirkt das Ausfliessen desselben in das umgebende Medium. Säuren stellen die ursprüngliche Farbe mit einem etwas mehr orangefarbigen Ton wieder her. Die nämlichen Farbenerscheinungen beobachtet man auch am ungelösten, durch Einwirkung der Luft roth gewordenen Inhalt getrockneter Wurzeln oder einzelner Zellen, welche absichtlich mit der Nadel verletzt wurden, um die Wirkung des Luftzutrittes zu verfolgen. Der Inhalt färbt sich in diesem letzteren Falle augenblicklich orange und dann röthlich, wobei sich der Farbstoff in Flocken niederschlägt; Alkalien färben indess nach wie vor purpurroth und Säuren gelborange. Eisenchlorid färbt die gelbe Zellflüssigkeit orange und zuletzt bräunlich-roth, ohne dass eine Trübung erfolgt; Alkohol zieht den gelösten Farbstoff aus, lässt dagegen den veränderten rothen ungelöst. Die gelbe alkoholische Lösung kann mit Wasser verdünnt oder an der Luft stehen gelassen werden, ohne sich zu verändern; sie zeigt übrigens auf Zusatz von Alkalien und Säuren denselben Farbenwechsel, wie die Zellflüssigkeit.

Farbstoffe der Farbhölzer.

466 Dass der Farbstoff des käuflichen Brasilienholzes, des Blauholzes und des rothen Santalumholzes vorzugsweise in die Membranen eingelagert ist und diese gleichmässig durchdringt, ist eine bekannte Thatsache. Dagegen wurde, wie es scheint, weniger beachtet, dass der nämliche Farbstoff sich auch im Zellinhalte der Markstrahlen findet und sogar in den oft verschwindend kleinen Lumina der Holzzellen hie und da in kleinen Körnchen wahrgenommen wird. Diese Thatsache scheint uns die Vermuthung zu rechtfertigen, dass das färbende Princip, ähnlich wie beim Krapp, zuerst gelöst im Zellinhalt vorhanden war und erst später von den Membranen gespeichert wurde. Die Untersuchung lebender Pflanzen wird lehren, ob unsere Vermuthung mit der Wirklichkeit übereinstimmt.

Die genannten Farbstoffe erscheinen unter dem Mikroskop durchgehends gelb oder orange bis rothorange; sie lösen sich in Alkalien mit purpurrother, nur beim Blauholz mit violetter oder blauer Farbe; Säuren stellen den gelben Ton wieder her. Das Verhalten gegen Wasser ist bekannt; dasselbe löst das Pigment der Caesalpinien mit rother oder blauer Farbe, während dasjenige des Santalumholzes ungelöst bleibt. Setzt man zu dem wässerigen Auszug des Roth- oder Blauholzes Eisenchlorid, so färbt sich die Flüssigkeit zuerst gelb, dann tritt eine starke Tanninreaction ein, indem sich ein blauer grumöser Niederschlag bildet. Der Uebergang von Gelb zu Blau geschieht durch ein schmutziges Grün, das übrigens nur bei langsamer Einwirkung deutlich in die Augen fällt. Ob zwischen Gerbstoff und Farbstoff, ähnlich wie beim Anthocyan und Erythrophyll, ein genetischer Zusammenhang bestehe, lässt sich natürlich hieraus nicht entnehmen; diese Frage muss durch Untersuchungen an frischem Material entschieden werden.

Farbstoff der Berberis-Wurzeln.

In chemischen und pharmakognostischen Werken wird angegeben, dass der gelbe Farbstoff der Columbo- und der Berberiswurzeln in den Wandungen der Holzzellen und Gefässe enthalten sei. Diese Angabe ist insofern richtig, als diese Wandungen, wie schon ihre Farbe zeigt, jedenfalls Farbstoff führen; allein auch hier macht es die mikroskopische Untersuchung wahrscheinlich, dass derselbe zuerst im Inhalte gelöst war und von da in die Membranen wanderte. Bei *Berberis* erscheint nämlich die Rinde am intensivsten gefärbt, und zwar sind es vorzugsweise die Markstrahlen und die peripherischen Rindenzellen, welche durch ihren gelben wässerigen Inhalt die Färbung bedingen. Lässt man verdünnte Säuren (Salpeters., Oxals., Phosphors., Weinsteins.) darauf einwirken, so erfolgt zunächst Ausscheidung von kleinen gelben Tröpfchen mit Molecularbewegung (vielleicht von gelösten Eiweissverbindungen herrührend). Diese Tröpfchen fliessen nach und nach zu grösseren zusammen und nehmen dabei einen mehr orangefarbigen Ton an. Kali verursacht einen körnigen Niederschlag und zieht den Farbstoff, der sich dabei mehr orange färbt, nach und nach aus, indess die körnige Masse zurückbleibt. Den nämlichen Farbenwechsel rufen Säuren und Alkalien auch an den porös-dickwandigen Zellen der Rinde hervor, welche in dem sonst dünnwandigen Gewebe zerstreut liegen; nur bedarf es einer längeren oder kräftigeren Einwirkung, um das Gelb der Membranen

in Orange überzuführen. — Lässt man Durchschnitte durch die Rinde eintrocknen (wobei der Primordialschlauch abstirbt), so wird der Farbstoff der dünnwandigen Markstrahlen- und Rindenzellen durch kaltes Wasser rasch ausgezogen, während die Membranen ihre gelbliche Färbung behalten. Entfernt man jetzt die Schnitte und setzt zu der gelben wässerigen Lösung Salzsäure, so bilden sich zahlreiche gelbe, häufig strahlenförmig gruppirte Krystallnadeln, welche mit salzsaurem Berberin übereinstimmen. Es ist nun im höchsten Grade wahrscheinlich, dass die gelbe Färbung der Zellmembranen sowohl im Holz als in der Rinde ebenfalls von Berberin oder von einer Verbindung desselben herrührt, da jedenfalls angenommen werden muss, dass die wässerige Lösung die Membran durchdringe, sobald die Lebensthätigkeit des Primordialschlauches aufhört. Die Speicherung des Farbstoffes in der Membransubstanz wäre alsdann eine Folge der Anziehung, welche dieselbe nachweisbar auf die meisten gelösten Farbstoffe, selbst auf Anthocyan und Erythrophyll, ausübt.*)

Rother und violetter Farbstoff der Saamenschalen.

468 Die Saamen von *Abrus precatorius* sind bekanntlich intensiv roth und nur in der Umgebung des Nabels schwarz gefärbt. Die mikroskopische Untersuchung zeigt, dass diese letztere Färbung von einem schön-violetten, erstere von einem rothen Pigment herrührt, welche beide in die dicken Wandungen der pallisadenartigen, die Oberfläche der Testa bildenden Zellen eingelagert sind. Beide Farbstoffe werden durch Alkalien blau und durch Säuren hochroth; sie verhalten sich also wie Anthocyan. Es lässt sich auch leicht zeigen, dass die Membran der gedachten Zellen eine starke Anziehung auf das Anthocyan ausübt und dasselbe zu speichern vermag. Bringt man nämlich vollständig entfärbte und ausgewaschene Membranen in den ausgepressten Zellsaft rother Blumenblätter, so färben sie sich ebenso intensiv wie vorher und behalten die Färbung beim Auswaschen bei. Dadurch wird es im höchsten Grade wahrscheinlich, dass die genannten Farbstoffe mit Anthocyan identisch und daher zuerst im Inhalte gelöst sind und erst später in die Membranen eingelagert werden.

d) Farbstoffe, welche nur eingelagert in die Membran vorkommen.

469 Von den hieher gehörigen Farbstoffen wurde bis jetzt keiner genau untersucht. Alle unsere Kenntnisse hierüber beschränken sich

*) Die Membranen der Collenchymzellen färben sich in einer Lösung von

auf gelegentliche Beobachtungen über Löslichkeit und Veränderung des Farbentons unter dem Einfluss der Reagentien. Die mikroskopische Beobachtung lässt es überdiess unentschieden, ob diese Farbstoffe wirklich in der Membran entstehen, oder ob sie vielleicht als Chromogene oder in äusserst geringer Menge fertig gebildet im Inhalte auftreten und von da in die Membran wandern. Da jedoch kein Grund vorhanden ist, die Bildungsstätte von Pigmenten, welche in nachweisbarer Menge **nur** in der Membran vorkommen, anderswohin zu verlegen, indem die Bedingungen zu chemischen Processen in der Membran ebensogut wie im Inhalte gegeben sind, so entspricht die unserer Eintheilung zu Grunde liegende Annahme wenigstens den bis jetzt beobachteten Thatsachen.

Als Beispiele von Farbstoffen, welche nur als Einlagerungen in Membranen bekannt sind, führen wir zunächst diejenigen an, welche bei den Nostochinen (Chroococcaceen und Nostochaceen) vorkommen. Sie zeigen die verschiedensten Nüancen zwischen Gelb und Blau, kommen aber namentlich einerseits in braungelben, anderseits in rothen und blauvioletten Tönen vor. Sie gehören zwei Verbindungen an.

Das **Glöocapsin** ist roth bis blau; durch Salzsäure wird es roth (schön rosenroth, rothorange oder bräunlichroth), durch Kali blau oder blauviolett. Es findet sich vorzüglich bei *Gloeocapsa*, doch auch bei einigen Fadenalgen.

Das **Scytonemin** ist gelb bis dunkelbraun; es wird durch Salzsäure spangrün und durch Kali wieder gelb, oft fast goldgelb. Es kommt bei vielen fadenförmigen Nostochaceen (Scytonema, Schizosiphon etc.), selten bei Chroococcaceen vor.*)

Weitere Beispiele liefern die Pigmente mancher Saamenhäute, **470**
so z. B. das Gelb von *Hippocrepis*, welches durch Säuren und Alkalien so gut wie keine Veränderung erfährt (nur die Intensität ändert sich etwas), ferner das Gelb der Cuticula von *Cycas* und manchen anderen Pflanzen, das Braun der Zellen in der Umgebung der Gefässbündel bei gewissen Farrenkräutern etc. Dagegen scheint die braune oder braunrothe Färbung der Saamenschaalen von *Phaseo-*

Anthocyan intensiv blau, und mehr oder weniger deutliche Färbungen kann man auch an andern Geweben beobachten.

*) Diese beiden Farbstoffe sind in systematischer Beziehung sehr constant, so dass sie zum mindesten eine generische Verschiedenheit andeuten. Es müssen daher z. B. die Gloeocapsen mit gelben Membranen als besondere Gattung (Xanthocapsa Näg.) ausgeschieden werden.

lus, *Entada* und anderen Leguminosen durchgehends von dem braungefärbten Inhalte herzurühren, in dem Sinne wenigstens, dass wenn hie und da auch die Membranen gefärbt sind, der Farbstoff doch nachweisbar zuerst im Inhalt vorhanden war.

Die Veränderlichkeit dieser braunen Pigmente ist eine sehr geringe. Alkalien rufen so gut wie keinen Farbenwechsel hervor; Säuren geben nur hie und da einen entschieden rötheren Ton (Phaseolus mesoleucus), der dann durch Alkalien wieder in Bläulichbraun und hierauf in Braun oder Braungelb übergeht. Bei *Phaseolus mesoleucus* scheint dieser Farbenwechsel von Anthocyan, welches im Inhalt zurückblieb, herzurühren. Wenigstens nehmen die Membranen, welche auf Zusatz von Säuren roth werden, in Kali einen bläulichen Ton an, der sich später verliert, ganz so, wie man es an Membranen beobachtet, die wirklich Anthocyan enthalten.

471 Endlich sind hieher noch jene Flechtenfarbstoffe zu rechnen, welche die Färbung des Thallusrandes und des Fruchtgehäuses, in manchen Fällen auch der Rindenfasern bedingen. Auch hierüber lässt sich kaum etwas Allgemeines sagen. Es kommt nicht selten vor, dass Farbstoffe, welche nahezu gleich aussehen, sich gegen Reagentien ungleich verhalten. So beobachtet man z. B., dass jene bläulichschwärzlichen Membranen, wie man sie im »Hypothallus« und im Fruchtgehäuse hie und da wahrnimmt, durch Säuren und Alkalien gewöhnlich wenig verändert werden, während die bläuliche Farbe des Thallusrandes von *Aspicilia calcarea* durch Salpetersäure intensiv spangrün wird. Dagegen zeigen die gelben und braunen Pigmente, welche die dunkle Färbung der oberen oder unteren Rinde, der Fruchtgehäuse und der Haftfasern bedingen und welche nur bei wenigen Flechten ganz fehlen dürften, ein ziemlich übereinstimmendes Verhalten. Dieselben werden aus jugendlichen Geweben, soweit wenigstens unsere Beobachtungen reichen, durch Alkalien ohne Farbenveränderung ausgezogen, während sie in späteren Stadien, wie z. B. in der schwarzen unteren Rinde mancher Imbricarien, in alten Fruchtgehäusen etc., widerstehen.

e) Farbstoffe, welche von den Zellen ausgeschieden werden und sich zwischen denselben oder an der freien Aussenfläche der Membranen ablagern.

472 Die Pigmente, welche die gelbe Färbung der oberen Rinde bei *Parmelia parietina* und anderen ähnlich gefärbten Flechten be-

dingen, sind weder im Inhalt noch in der Membran enthalten, sondern in Gestalt von kleinen Körnchen an die Aussenfläche der Membran angedrückt oder zwischen die sich berührenden Zellen eingeklemmt. Dasselbe gilt von dem gelben Farbstoff der *Solorina crocea*, *Sticta aurata* etc., wo die gelben Körnchen die Oberfläche der Markfasern bedecken.

Die Erscheinungen, welche man auf Zusatz von Kali beobachtet, machen es in manchen Fällen sehr wahrscheinlich, dass der Farbstoff nicht als solcher ausgeschieden wird, sondern in eine farblose, aus einer quellungsfähigen Substanz bestehende Grundlage eingebettet ist. Darauf deuten namentlich die rothen und violetten Wolken, welche das Kali bei Physcia parietina, Solorina crocea und bei manchen gelben Krustenflechten hervorruft. Diese Wolken bestehen nämlich aus einer schwerflüssigen, fast gallertartigen Substanz, in welcher zahllose kleine Splitterchen suspendirt sind, und es scheint, dass die Färbung vorzugsweise von diesen letzteren herrührt. Ob die Körnchen, welche mit Kali eine gelbe Lösung bilden, die sich rasch entfärbt, ähnlich zusammengesetzt sind, müssen weitere Untersuchungen lehren.

5. Pectinstoffe.

Seit den Untersuchungen Frémy's ist die Frage, wo das ur- 473
sprüngliche Material, aus dem die Pectinstoffe entstehen, die Pectose, ihren Sitz habe, wiederholt erörtert worden. Die einen hielten sie für einen Bestandtheil des Inhalts, die andern für einen Bestandtheil der Membran. Diese letztere Ansicht fand neuerdings zwei Vertreter in Kabsch*) und Vogl**), welche dieselbe für die untersuchten fleischigen Wurzeln (Daucus Carota, Brassica Napus, Taraxacum officinale) übereinstimmend dahin präcisirten, dass die äussern, die sog. primäre Zellwand bildenden Schichten in der Umwandlung in Pectose begriffen seien und dass diese Substanz in den genannten Wurzeln die Intercellularsubstanz bilde. Ebenso soll nach Vogl die Hülle der Milchsaftgefässe beim Löwenzahn sich als »eine in der Pectinmetamorphose begriffene Cellulose« erweisen. Diese Angaben beruhen indess einzig und allein auf der theilweisen Löslichkeit der erwähnten Schichten in heissem Wasser, sowie in verdünnten Säuren und Alkalien, — Eigenschaften, die man häufig genug auch bei Algen und Flechten, überhaupt bei Pflanzen findet, welche keine

*) Pringsheim's Jahrb. Bd. III. p. 366.

**) Sitzungsber. der kais. Akad. der Wiss. in Wien. Bd. 48. 2te Abth.

Pectinstoffe liefern, und die man folglich keineswegs als Kennzeichen der Pectose betrachten darf.

Wir halten die Ansicht, dass die Pectose einen Bestandtheil der Zellwandungen bilde, für durchaus unbegründet. Untersucht man unreife Früchte, welche sich später durch ihren Pectingehalt auszeichnen (Birnen, Aepfel, Beeren etc.), so findet man durchgehends, dass das Fruchtfleisch aus einem ganz dünnwandigen Gewebe besteht, dessen Membranen sich beim Kochen in Wasser, sowie in verdünnten Säuren und Alkalien nicht merklich verändern und sich auch gegen andere Reagentien wie Cellulosemembranen verhalten. Die Pectose kann also nicht in den dünnen Wandungen, die ohnehin eine so bedeutende Menge von Material unmöglich liefern könnten, enthalten sein: sie muss einen Bestandtheil des Inhalts bilden.

6. Kohlenhydrate.

474 Zu den Kohlenhydraten, deren Eigenschaften und Vorkommen wir im Allgemeinen als bekannt voraussetzen, gehören bekanntlich zunächst die Zucker- und Gummiarten und das Inulin, welche als die Endglieder der stickstofffreien Assimilationsproducte zu betrachten sind, dann die ungelösten, organisirten Gebilde der Stärke und Cellulose, welche durch Umbildung (ohne Veränderung der chemischen Zusammensetzung) aus jenen entstehen und auch umgekehrt wieder in Zucker und Gummi übergehen, um mit den strömenden Säften weiter zu wandern. Die mikrochemischen Reactionen auf die verschiedenen Kohlenhydrate verdienen unter diesen Umständen besondere Beachtung, weil sie uns die Umbildungs- und Rückbildungsprocesse, soweit sie die stickstofffreien Verbindungen betreffen, zu verfolgen gestatten.

a) Traubenzucker, Dextrin, Rohrzucker.

475 Um diese Stoffe in den Pflanzengeweben mikrochemisch nachzuweisen, hat neuerdings Sachs die bekannte Reaction derselben auf alkalische Zuckerlösungen angewendet und dabei ein Verfahren ausfindig gemacht, welches in der That eine ziemliche Sicherheit der Beobachtung gestattet. Da dieses Verfahren auf eine der wichtigsten Erscheinungen im Lebensprocess, nämlich die Wanderung assimilirter Stoffe von Zelle zu Zelle Bezug hat, so mag hier die umständliche Beschreibung desselben, wie sie von Sachs selbst (Flora 1862 pag. 289) mitgetheilt wurde, Platz finden.

»Die zu untersuchenden Längs- und Querschnitte der Pflanzen-

theile werden in eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol, welche sich in einem kleinen flachen Porcellanschälchen befindet, gelegt. Wenn es darauf ankommt, die im Inhalt der Zellen gelösten Stoffe aufzusuchen, so dürfen die Schnitte nicht zu dünn sein, sie müssen wenigstens eine bis zwei Schichten unverletzter Zellen enthalten; will man dagegen Färbung der Zellhäute hervorrufen, so ist es besser, dünnere Schnitte zu nehmen, welche keine ganzen unverletzten Zellen enthalten, weil in diesem Falle die etwaigen Reactionen im Zellinhalt den Eindruck stören würden. Auch die Zeit, wie lange die Schnitte in der Kupfervitriollösung liegen müssen, ist darnach einzurichten; im Allgemeinen müssen die Schnitte länger in der blauen Flüssigkeit liegen, wenn man auf die Zellhäute reagiren will. In diesem Falle können die Präparate zuweilen schon nach 5—10 Minuten zur weiteren Behandlung kommen, zuweilen müssen sie aber mehrere Stunden in der Kupferlösung liegen. Um die in der Zellflüssigkeit vorhandenen Stoffe nachzuweisen, genügt dagegen meist ein Verweilen von 2—3, seltener von 5—10 Minuten in der Lösung. Doch muss man aus dem nämlichen Pflanzentheil immer gleichzeitig mehrere und verschieden dicke Schnitte in die Flüssigkeit legen und sie bei der folgenden Behandlung mit Kali nach einander vornehmen.

Es wird nun in einem kleinen, etwa 8—10 C. C. fassenden Porcellanschälchen Kalilösung (etwa 1 Gewichtstheil Wasser auf 1 Gewichtstheil kaustisches Kali) bis zum Kochen erhitzt, indem man das Schälchen in eine Drahtöse setzt, die an einem Holzgriff befestigt ist, und es damit über die Spiritusflamme hält. Dann setze ich das Schälchen vor mich hin, nehme mit einer feinen Pincette einen Schnitt aus der Kupferflüssigkeit und schwenke ihn einigemal in einer grösseren Wassermasse (am besten in einer grossen Porcellanschale enthalten) hin und her, um die äusserlich anhängende Kupferlösung zu entfernen, was für das Gelingen der Reaction maassgebend ist; sodann lege ich den Schnitt in die heisse Kalilauge. Entweder erfolgt die nun zu beschreibende Reaction schon jetzt, oder man muss das Schälchen sammt dem darin liegenden Schnitt nochmals über die Flamme halten.

Ist Traubenzucker oder Dextrin in den Zellen, so bildet sich in dem vorher farblosen Gewebe ein zinnoberrother bis mennigrother Niederschlag von reducirtem Kupferoxydul. Tritt ein solcher Niederschlag nicht ein, so darf man mit Bestimmtheit auf Abwesenheit von Traubenzucker und Dextrin schliessen.

Ist in dem Parenchym Rohrzucker vorhanden, so nimmt das mit Kupferflüssigkeit getränkte Gewebe im Kali eine schöne blaue Färbung an, und bei dem Erhitzen tritt keine Reduction von Kupferoxydul auf, die Flüssigkeit bleibt blau und diffundirt in das umgebende Kali. Tritt bei dem Eintauchen des mit Kupfervitriol getränkten und abgewaschenen Schnittes in Kali (vor und nach dem Erhitzen) in den Zellen eine violette Flüssigkeit auf, so ist diess ein Beweis für die Gegenwart von eiweissartigen Stoffen.«

Die weiteren Bemerkungen, welche Sachs noch hinzufügt, geben wir hier im Auszuge wieder. Um auf Zellhäute, Traubenzucker und Dextrin zu reagiren, können die mit Zuckerlösung getränkten Schnitte auch auf dem Objectträger in Kali gelegt werden, wobei die Reaction der Zellmembran sogleich, die des wässerigen Zellinhaltes nach dem Erhitzen über der Weingeistflamme eintritt. — Die Reaction auf Rohrzucker ist unter den oben angegebenen die am wenigsten sichere, jedoch bei grösserem Zuckergehalt, wie z. B. im Gewebe der Runkelrüben, nicht zu verkennen. Die blaue Färbung der Zellmembranen, wie man sie am Collenchym, an jungen Bastzellen und am Holzcambium beobachtet, darf dagegen nicht als Rohrzuckerreaction gedeutet werden.

b) Inulin.

476 Von den Eigenschaften des Inulins heben wir hier nur diejenigen hervor, welche zur Nachweisung desselben in mikroskopischen Objecten dienen können. Wir halten uns hiebei an die Angaben von Sachs,*) dem es zuerst gelang, Reactionen ausfindig zu machen, die für das Inulin charakteristisch sind und unter dem Mikroskop sich leicht und sicher wiederholen lassen.

Das Inulin kommt hienach in den lebenden Parenchymzellen, wie schon Payen und Mohl richtig erkannt hatten, immer gelöst im Zellsafte vor. Wo es in grösserer Menge vorhanden ist, wie in den reifen Knollen von Helianthus tuberosus, Dahlia variabilis und Inula Helenium, scheint die Lösung eine sehr hohe Concentration zu besitzen, da sie in den unverletzten Zellen, wenigstens bei schwächerer Vergrösserung, den Anschein eines dünnen hellgelblichen Oeles gewährt. Taucht man einen frischen Schnitt von inulinhaltigen Knollen in Alkohol ein, so bildet sich ein feinkörniger Nieder-

---

*) Ueber die Sphaerokrystalle des Inulins und dessen mikroskopische Nachweisung in den Zellen (Bot. Ztg. 1864 p. 77).

schlag, dessen Körnchen eine lebhafte Molecularbewegung zeigen. Hie und da beobachtet man auch grössere Kugeln, welche bei schwacher Vergrösserung Oeltropfen ähnlich sind (Fig. 215 *A*). »In vielen Zellen hat der Niederschlag aber ein anderes Aussehen; es scheint so, als ob sich eine schaumige, vacuolige, stark lichtbrechende Masse an die Zellwand angelagert hätte. Lässt man ein derartiges Präparat nun 5—10 Minuten in Alkohol liegen, so geschieht es oft, doch nicht immer, dass sich einzelne Zellengruppen klären, indem der feine Niederschlag verschwindet und statt dessen grössere Kugeln von 10—15 Mikromill. Durchmesser auftreten; oft hängen sie traubig zusammen, meist sitzen sie, halbkugelförmig, mit der flachen Seite an der Zellwand, zuweilen sind sie völlig rund und isolirt.« (Fig. 215 *A*).

Bringt man nun einen so vorbereiteten Schnitt in kaltes Wasser, so treten die grösseren Kugeln klarer hervor, indess die kleinen Niederschlagskörnchen verschwinden. Sämmtliche Kugeln zeigen radiale Risse, die schönsten derselben zugleich einige concentrische Schichten (Fig. 215 *B*). Die Uebereinstimmung mit den Sphaerokrystallen des Inulins (Fig. 215 *C*), wie man sie ausserhalb der Pflanze aus warmen wässerigen Lösungen beim Stehenlassen, oder indem

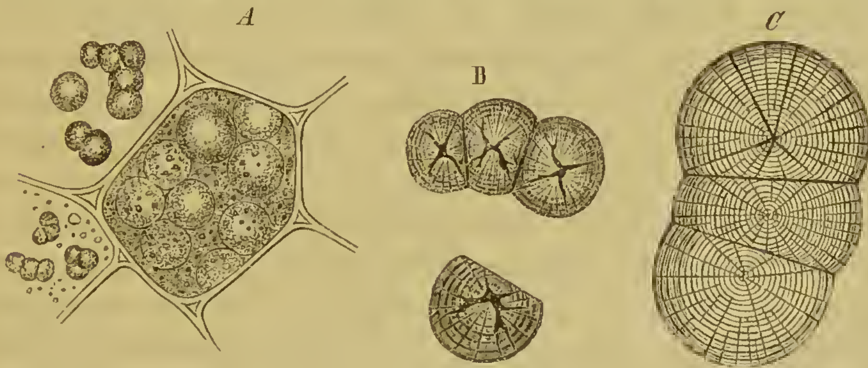


Fig. 215.

man Alkohol langsam hinein diffundiren lässt, erhält, ist jetzt nicht mehr zu verkennen. Dass die letzteren beträchtlich grösser und ausgebildeter sind, erklärt sich einfach durch ihre langsamere Entwicklung. Uebrigens hat Sachs gezeigt, dass man ebenso schöne, oft colossale Formen von Sphaerokrystallen erhält, wenn man grössere Stücke von inulinhaltigen Knollen in Alkohol oder in Glycerin einige Tage, Wochen oder Monate lang liegen lässt. Man bemerkt alsdann auf glatten Durchschnitten schon mit freiem Auge kleine Körnchen im Gewebe, welche einen ganzen Complex von Zellen einnehmen, und die mikroskopische Untersuchung zeigt, dass neben diesen gros-

sen Krystallen auch zahlreiche kleinere vorhanden sind, welche das Lumen einer einzigen Zelle oder auch nur einen Theil desselben ausfüllen. Dasselbe beweisen auch die von Nägeli*) beschriebenen, zweifelsohne aus Inulin bestehenden Sphaerokrystalle in Acetabularia mediterranea (alte Weingeistexemplare), welche hinsichtlich ihrer Ausbildung die von Sachs dargestellten noch übertreffen.

477 Die mikroskopische Nachweisung des Inulins geschieht also nach dem Gesagten dadurch, dass man frische Schnitte mit Alkohol behandelt oder, was besser ist, die zu prüfenden Pflanzentheile in grösseren Stücken Tage, Wochen oder Monate lang in Alkohol oder Glycerin liegen lässt. Bilden sich bei dieser Behandlung die in unserer Figur dargestellten charakteristischen Formen der Sphaerokrystalle, so darf man mit Sicherheit auf die Gegenwart von Inulin in den untersuchten Pflanzentheilen schliessen.

Wer die Sphaerokrystalle einmal aus eigener Anschauung kennen gelernt hat, wird eine weitere mikroskopische Prüfung derselben kaum für nöthig erachten. Für zweifelhafte Fälle mögen indess noch folgende Reactionen, die sich mikroskopisch leicht beobachten lassen, Erwähnung finden. Die Sphaerokrystalle des Inulins zeigen auf Zusatz von Wasser, Säuren oder Alkalien keine Quellungserscheinungen; sie sind nicht imbibitionsfähig, wie die Stärkekörner oder die Proteinkrystalloide, wohl aber porös wie Tuffstein. Dem entsprechend erscheinen sie unter dem Mikroskop durchsichtig, so lange die Poren mit einer Flüssigkeit gefüllt sind, undurchsichtig dagegen, sobald die letztere durch Verdunstung verschwunden ist. Lässt man Schwefelsäure, Salpetersäure, Salzsäure oder Kalilösung darauf einwirken, so findet gewöhnlich zunächst ein Zerfallen derselben in mehrere Sectoren, dann aber die vollständige Auflösung der Theile von aussen nach innen statt. Wässerige oder alkoholische Iodlösungen dringen in die Sphaerokrystalle ein und erzeugen eine braune Färbung, die indess von der Iodlösung allein herrührt; eine Aufspeicherung oder Verdichtung des Iod, etwa ähnlich wie in Stärkekörnern oder Zellkernen, findet nicht statt.

c) Stärke.

478 Die Stärkekörner färben sich bekanntlich auf Zusatz von Iodlösung blau. Die Färbung ist in der Regel so deutlich, dass selbst

*) Sitzungsber. der k. bayer. Akad. d. Wiss. zu München. Vortrag vom 8. März 1862.

Körner von nur 2 — 3 Mik. im Durchmesser noch sicher als Stärke erkannt werden können. Da sie überdiess bei vorsichtigem Iodzusatz schon beginnt, ehe das Plasma die geringste Veränderung zeigt, so ist die Reaction auch in solchen Fällen sicher, wo die Stärkekörner von Plasmamassen eingehüllt sind. Uebrigens kann man in diesen Fällen die eiweissartigen Stoffe des Plasmas durch längeres Liegenlassen der Schnitte in Kali ausziehen und hierauf die aufgequollenen Körner mit Iod färben. Ebenso kann das Chlorophyll, wenn es die Sicherheit der Beobachtung beeinträchtigt, vorher durch Alkohol entfernt werden.

Die Beobachtung dieser wenigen Vorschriften genügt in der 479
Regel, um die Gegenwart von Stärkekörnern nachzuweisen. Um jedoch in zweifelhaften Fällen nicht irre zu gehen, ist das Verhalten derselben gegen Iodlösungen im Gegensatz zu anderen Stoffen, die in der Zelle vorkommen, noch genauer ins Auge zu fassen. Aus den betreffenden Untersuchungen *) heben wir nachstehend die für unsere Zwecke wichtigeren hervor.

1) Wenn Stärke mit geronnenen eiweissartigen Verbindungen gemischt und auf dem Objectträger in eine sehr verdünnte wässerige Iodlösung gebracht wird, so färbt sich vermöge ihrer vorwiegenden Affinität zuerst die Stärke und erst später das Eiweiss. Ebenso entzieht das Wasser bei der Entfärbung in Folge der Verdunstung zuerst dem Eiweiss und dann erst den Stärkekörnern das aufgenommene Iod. Aehnliche Verschiedenheiten bestehen übrigens auch zwischen den Stärkekörnern verschiedener Pflanzen. Kartoffel- und Weizenstärke zeigen z. B. die Reaction früher als Stärkekörner aus der Ingwerwurzel. Der Versuch gelingt am besten, wenn man die Objecte in reines Wasser legt und zwischen dieselben oder an den Rand des Deckgläschens ein paar Iodsplitter bringt.

2) Legt man durch Hitze coagulirtes Hühnereiweiss in wässerige Iodlösung, so färbt sich dasselbe allmählich durch und durch braun. Bringt man es nun in ein verschlossenes, mit Wasser und Stärke gefülltes Gefäss, so verlässt das Iod langsam das Eiweiss und färbt die Stärke. Dagegen vermag umgekehrt das coagulirte Eiweiss der gebläuten Stärke kein Iod zu entziehen. Aehnlich verhalten sich auch Dextrin, Flechtenschläuche, mit Schwefelsäure behandelte Baumwol-

*) Nägeli in den Sitzungsber. der k. bayer. Akad. d. Wiss. in München. Vortrag vom 13. Dec. 1862.

lenfasern etc.; sie haben sämmtlich eine geringere Affinität zu Iod als Stärkemehl und werden daher von diesem entfärbt.

Aus diesen beiden Punkten ergiebt sich für den Beobachter die Regel, dass eine Bläuung, welche bei langsamer Einwirkung von Iod erst eintritt, nachdem das Plasma sich bereits gefärbt hat, nicht auf das Vorhandensein von Stärke schliessen lässt. Wenn z. B. in der Epidermis von *Ornithogalum* die allmähliche Einwirkung von Iod zuerst die Stärkekörner der Spaltöffnungszellen blau, dann das Plasma braungelb und zuletzt eine fragliche Substanz (angeblich gelöste Stärke), die im Zellsaft gelöst ist, violett färbt, so folgt daraus, dass die letztere nicht Stärke sein kann.

480 Den Einfluss betreffend, welchen der Wassergehalt auf die Färbung der Stärke ausübt, so schienen die früheren Beobachtungen von Mohl und Nägeli*) zu dem Resultate zu führen, dass die Anwesenheit des Wassers nothwendige Bedingung der blauen Färbung sei. Iodstärke, welcher das Wasser entzogen wird, nimmt in der That allmählich einen braungelben, braunrothen bis dunkelbraunen Ton an und wird nach der Benetzung wieder blau. Die Schlüsse, welche aus diesen Beobachtungen gezogen wurden, bedürfen jedoch einer Berichtigung; sie müssen nach den erwähnten neueren Untersuchungen folgendermaassen formulirt werden.

1) Die Stärke nimmt verschiedene Farben an, je nachdem sie im Momente, in welchem das Iod eingelagert wird, mit mehr oder weniger Wasser imbibirt ist. Die reinblaue Färbung erlangt sie nur dann, wenn sie nahezu ihren vollen Wassergehalt hat. — Wasserfreie Iodtinctur, desgleichen Iod in ätherischem Oel gelöst oder in Dampfform, färbt trockene Kartoffelstärke äusserst langsam und zwar zuerst gelb, dann gelbbraun. Wird der Iodtinctur etwas Wasser beigemischt, so erhält man, je nachdem man nur wenig oder etwas mehr genommen, rothgelbe, braune, rothbraune, kupferrothe und violette Töne.

2) Die durch Iod gefärbte und von Wasser durchdrungene Stärke kann die angenommene (blaue, rothe oder gelbe) Farbe unverändert behalten, wenn ihr das Wasser durch Verdunsten oder durch Alkohol entzogen wird. — Tritt während des Austrocknens eine Farbenänderung ein, so liegt die Ursache nicht in der Verminderung des Wassergehaltes an und für sich.

---

*) Mohl, Flora 1840. Nägeli, Stärkekörner p. 188.

3) Unter übrigens gleichen Umständen bewirkt die grössere oder geringere Menge des eingelagerten Iod keine Verschiedenheit des Farbentons, sondern nur eine grössere oder geringere Intensität der Farbe. — Wo also beim Färben oder Entfärben ein Farbenwechsel bemerkbar ist, wird derselbe nicht durch den Iodgehalt, sondern durch andere Ursachen bedingt.

4) Die Ursachen verschiedener Färbung bei gleichem Iodgehalt sind zweierlei Art. Die Thatsache, dass die Stärke beim Entfärben mehr nach Roth gehende Töne annimmt, als beim Färben, und dass blaue Iodstärke, ohne sonst eine nachweisbare Veränderung zu zeigen, durch Erhitzen oder durch wiederholtes Ausziehen mit Alkohol zuerst violett, dann roth, braunroth und selbst braungelb und gelb wird, nöthigt zu der Annahme, dass das Iod, ehe es die Stärke verlässt, zuerst seine Anordnung bezüglich der kleinsten Theilchen derselben verändert und dadurch verschiedene, eigenthümliche Farben hervorbringt. Diess ist die eine Ursache; die andere liegt in fremdartigen Substanzen, welche die Iodstärke durchdringen. So bewirkt z. B. Iod in verdünnter Iodkaliumlösung eine schön blaue Färbung der Kartoffelstärke; lässt man aber die Lösung concentrirter werden, so treten mit der zunehmenden Concentration violette, rothe, kupferrothe, rothbraune und zuletzt braungelbe und gelbe Farbentöne auf. Aehnliche Färbungen erhält man, wenn man die Stärke zuerst in eine gesättigte Lösung von Glaubersalz, Kochsalz, Bittersalz etc. oder in Lösungen von Iodsäure, Iodwasserstoffsäure, Glycerin etc. bringt und dann Iodsplitter zusetzt, oder wenn man trockene blaue Iodstärke mit genannten Lösungen übergiesst und (nöthigenfalls wiederholt) eintrocknen lässt. Diese verschiedenen Salze und Säuren haben also das Vermögen, die Blaufärbung der Stärke zu verhindern und, wenn sie auf schon gebildete blaue Iodstärke einwirken, den blauen Farbenton durch Violett und Roth in Gelb überzuführen.*) Eine chemische oder physikalische Veränderung der Stärke findet dabei nachweisbar nicht statt; wenn sie mit Wasser ausgewaschen wird, so verhält sie sich wie unveränderte Stärke.

5) Es ist anzunehmen, dass die Einlagerung von Cellulose in die Schichten der Stärkekörner einen ähnlichen Farbenwechsel her-

*) Wie viel bei diesen Farbenänderungen auf Rechnung des durchdringenden Stoffes, wie viel auf Rechnung der geringeren Menge von Imbibitionswasser falle, lässt sich allerdings nicht bestimmen; soviel geht indess mit Bestimmtheit aus den Versuchen hervor, dass das Imbibitionswasser für sich allein nicht den Ausschlag gibt.

vorruft. Darauf beruht wohl grösstentheils die Differenz zwischen den äussersten Schichten und der inneren Masse des nämlichen Korns, sowie das abweichende Verhalten der Getreidekörner im Gegensatz zu solchen aus Knollen und Wurzeln.

6) Von den verschiedenen Iodstärkeverbindungen entspricht die blaue der stärksten, die gelbe der schwächsten Verwandtschaft. Ungleiche Verwandtschaftsgrade bedingen auch eine ungleiche Anordnung der Iodtheilchen. Die Verwandtschaft wird durch die Anwesenheit von Wasser gesteigert, durch die Anwesenheit irgend einer andern Substanz dagegen vermindert, wobei gleichzeitig eine entsprechende Veränderung in der Anordnung der Iodtheilchen stattfindet.

481 Besondere Erwähnung verdient das Verhalten der Stärkekörner gegen das Speichelferment.*) Lässt man nämlich Speichel bei einer Temperatur von 45—50 ° C. längere Zeit auf frisches, unverändertes Stärkemehl einwirken, so tritt ein allmählicher Auflösungsprocess ein, welcher an der Oberfläche beginnt und nach innen zu fortschreitet. Die Substanz des Korns wird aber nicht vollständig gelöst, wie es bei der im Uebrigen ähnlichen Einwirkung der Diastase während der Keimung der Fall ist, sondern es bleibt je nach der schwächern oder stärkern Einwirkung entweder eine ununterbrochene Substanz von gleicher Form und Schichtung wie das unveränderte Korn, nur von geringerer Dichtigkeit, oder aber ein System von ineinander geschachtelten zarten Blasen, welche den theilweise aufgelösten dichteren Schichten des Korns entsprechen, zurück. Untersucht man die Körner in den verschiedenen Stadien der Resorption, so sieht man deutlich, wie die bereits angegriffene, zarte Randpartie allmählich breiter wird, indess der unveränderte centrale Theil, welcher vermöge seiner stärkern Lichtbrechung stark contourirt erscheint, sich gleichzeitig verkleinert und zuletzt verschwindet.

Haben die Körner Risse im Innern, so wird zunächst eine peripherische Substanzlage in der angegebenen Weise verändert. Später, wenn die Risse erreicht sind, dringt das Reagens in dieselben ein und wirkt fortan von ihrer ganzen innern Fläche aus. Das Korn wird dadurch in verschiedener Weise ausgehöhlt, oft so, dass die umschliessende Hülle zuletzt an mehreren Punkten durchbrochen erscheint oder in zwei oder mehr Stücke auseinander fällt.

---

*) Vgl. Nägeli, Stärkekörner pag. 113 ff.

Der nach der Behandlung mit Speichel zurückbleibende Bestandtheil der Stärkekörner gehört nach seinem Verhalten gegen Iod zu den Cellulosearten. Wässerige Iodlösung färbt denselben entweder gar nicht oder blass kupferroth, und ebenso verhält sich frische Iodtinctur. Dagegen tritt nach dem Eintrocknenlassen mit Iodzinkiodlösung, Iodkaliumiodlösung, Iodtinctur oder wässeriger Iodlösung, welcher noch festes Iod beigemengt ist, beim Wiederbefeuchten mit Wasser eine schöne violettblaue bis indigoblaue Färbung ein.

Das Cellulosekorn ist übrigens im Speichelferment keineswegs unlöslich, sondern nur weniger löslich als die Stärkesubstanz. Dasselbe wird schliesslich, wenn das Reagens lange genug einwirkt, ebenfalls gelöst und zwar von der Oberfläche aus nach innen und in den weicheren Partieen früher als in den dichtern. Es ist möglich, dass ein Theil der Cellulose schon früher gleichzeitig mit der Stärke verschwindet.

Die Stärkekörner sind also nach dem Vorhergehenden ein Gemenge von zwei Verbindungen, nämlich von Granulose und Cellulose, in der Art, dass in jedem Punkte beide Stoffe vereinigt sind. Die Mengungsverhältnisse sind bei den verschiedenen Stärkearten ungleich und variiren überdiess mit dem Wassergehalt der Schichten. Die weichen Schichten enthalten verhältnissmässig mehr, die dichteren weniger Granulose. Im Ganzen ist die letztere bei den meisten Stärkearten weit überwiegend; in manchen Fällen möchte sie, nach der geringen Volumenverminderung während der Einwirkung des Speichels und der bedeutenden Dichtigkeitsabnahme zu schliessen, ungefähr $^7/_8$ der ganzen Masse betragen. Fast ausschliesslich aus Cellulose besteht die äusserste Schicht der Stärkekörner, welche daher eine von der übrigen Substanz wesentlich verschiedene Rinde darstellt und sich theils durch grössere Unlöslichkeit theils durch ein abweichendes Verhalten bei der Iodreaction auszeichnet. Beide Eigenschaften müssen an aufgequollenen Körnern studirt werden.

d) Cellulosearten.

Nach der gewöhnlichen Ansicht über die Zusammensetzung der 482
Zellmembranen, wie sie von Payen und v. Mohl begründet und seitdem von Chemikern und Botanikern ziemlich allgemein angenommen wurde, besteht die Grundlage aller vegetabilischen Zellmembranen, von der höchsten Pflanze bis zu den Pilzen abwärts, aus einer und derselben chemischen Verbindung, der Cellulose. Dieselbe soll in jugendlichen Zellmembranen in ziemlich reinem Zustande vorkom-

men, in älteren dagegen durch fremdartige Einlagerungen (incrustirende Substanzen) chemisch und physikalisch mehr oder weniger verändert sein. Sie erlangt jedoch, so lehrte man weiter, ihre ursprünglichen Eigenschaften unter allen Umständen wieder, wenn die incrustirenden Substanzen durch geeignete Behandlung mit Säuren, Alkalien etc. ausgezogen werden. Als charakteristische Eigenschaft der purificirten Cellulose betrachtete man die Blaufärbung auf Zusatz von Iod und Schwefelsäure und die vollständige Unlöslichkeit derselben in kaltem und heissem Wasser, sowie in verdünnten Säuren und Alkalien. Mohl ging sogar noch einen Schritt weiter, indem er der »gereinigten Cellulose« die Fähigkeit zuschrieb, sich durch Iod und Wasser allein blau zu färben.*)

Diese Theorie lässt sich mit den neuern Untersuchungen**), welche entschieden gegen die angenommene Bedeutung der Incrustationen sprechen, nicht vereinigen. Die Eigenschaften der Membranen müssen nunmehr folgendermassen formulirt werden.

483 1) Die vegetabilischen Zellmembranen bestehen in vielen Fällen nachweisbar aus zwei isomeren, innig mit einander gemengten Verbindungen von ungleicher Löslichkeit. Die eine derselben wird zuweilen schon in kaltem Wasser, noch leichter in kochendem Wasser ausgezogen und kann aus der Lösung durch Iod und Iodwasserstoffsäure als blauer oder blaugrüner Niederschlag gefällt werden. So verhalten sich z. B. die Saamenlappen von *Hymenaea Courbaril, Mucuna* und andern Gattungen, desgleichen die Gonidienmembranen von *Phylliscum*. In andern Fällen ist die Einwirkung einer verdünnten Säure erforderlich, um den leichter löslichen Bestandtheil auszuziehen, so z. B. bei den Flechtenschläuchen, denen durch verdünnte Salzsäure der mit wässeriger Iodlösung sich bläuende Theil entzogen wird. Es scheint überhaupt eine allgemeine Eigenschaft der Membranen zu sein, dass sie einen Theil ihrer Substanz an Lösungsmittel abgeben, welchen der andere Theil widersteht.

Die mikrochemische Untersuchung der die Zellmembran zusammensetzenden Substanzen wird durch diesen Umstand bedeutend erschwert; denn da die isomeren Verbindungen, welche die organische Grundlage bilden, nur wenig von einander verschieden sind, so kann die leichter lösliche nur durch lange, viele Wochen und Monate

*) Bot. Ztg. 1847, Veget. Zelle p. 30.

**) Vgl. Nägeli in den Sitzungsber. der k. bayer. Akad. der Wiss. in München, Vortrag vom 6. Mai und 13. Juni 1863.

dauernde Einwirkung eines schwachen Lösungsmittels entfernt werden, und der Erfolg dieser Einwirkung muss von Zeit zu Zeit an kleinen Proben, die man unter das Mikroskop bringt, geprüft werden, bis endlich keine Veränderungen mehr eintreten. Unterlässt man diese Procedur, so ist bei dem wechselnden Verhältniss zwischen leichter und schwerer löslichen Bestandtheilen, verbunden mit der Verschiedenartigkeit der fremden Einlagerungen, eine solche Mannigfaltigkeit der Erscheinungen denkbar, dass bestimmte Folgerungen in Betreff der chemischen Zusammensetzung, wie sie Schleiden und Frémy*) gezogen haben, sich aus dem Verhalten der Gemenge

*) Frémy gelangte durch eine Reihe von Untersuchungen, deren Resultate er im Jahre 1859 der Akademie der Wissenschaften in Paris vorlegte und gleichzeitig im »Journal de Pharmacie et de Chimie« (t. XXXVI p. 6) zusammenstellte, zu dem Schluss, dass die verschiedenen Gewebe der Hölzer aus ebenso vielen chemisch verschiedenen und durch ihre ungleiche Löslichkeit vollständig isolirbaren Substanzen bestehen, deren Namen, Vorkommen und Eigenschaften er folgendermaassen feststellte.

1) Cellulose, unmittelbar löslich in Kupferoxydammoniak, löslich in concentrirter Schwefelsäure und in concentrirter kochender Kalilauge; bildet die Zellmembranen der Früchte, fleischigen Wurzeln, Bastfasern etc.

2) Paracellulose, löslich in concentrirter Schwefelsäure und in concentrirter kochender Kalilauge, unlöslich in Kupferoxydammoniak, wird in diesem letzteren Reagens löslich durch vorhergehende Behandlung mit Säuren und Alkalien, sowie durch feuchte und trockene Wärme; bildet die Membranen des Markes und der Markstrahlen.

3) Fibrose, unlöslich in Kupferoxydammoniak und in concentrirter kochender Kalilauge, löslich in concentrirter Schwefelsäure; bildet die Membranen der Holzzellen, der Pilzgewebe etc.

NB. Cellulose, Paracellulose und Fibrose bilden nach Frémy die Cellulosegewebe; sie haben sämmtlich die procentische Zusammensetzung der Kohlenhydrate und färben sich mit Iod und Schwefelsäure blau.

4) Vasculose, unlöslich in concentrirter Schwefelsäure (oder Salzsäure) und in Kupferoxydammoniak, löslich in concentrirter kochender Kalilauge; bildet die Membranen der Gefässe.

5) Pectose, bildet mit Kupferoxydammoniak (welches die einhüllenden Cellulosemembranen löst) pectinsaures Kupferoxyd und geht durch Säuren in Pectin über; findet sich in Früchten und Wurzeln.

6) Cutine, unlöslich in concentrirter Schwefelsäure und in Kupferoxydammoniak, verseift sich mit den Alkalien wie ein ächtes Fett; bildet die cuticularisirten Schichten der Epidermis.

Dass diese Eintheilung Frémy's in der Hauptsache eine durchaus unhaltbare ist, geht schon aus dem Umstande hervor, dass die Differenzen zwischen gleichnamigen Gebilden, wie z. B. zwischen Gefäss und Gefäss oft weit grösser sind, als diejenigen zwischen Holzzelle und Holzgefäss, die angeblich aus zwei verschiedenen Substanzen bestehen. Die Gefässe fleischiger Wurzeln lösen sich,

gegen kräftige Reagentien, man mag es nun mit ganzen Gewebepartieen oder bloss mit Membranschichten zu thun haben, nicht mehr ableiten lassen oder wenigstens nicht durch zwingende Gründe unterstützt werden.

2) Die ungleiche Löslichkeit der Zellmembranen in den verschiedenen Lösungsmitteln kann nicht wohl auf Rechnung der eingelagerten Substanzen geschrieben werden, da die festeren Zellmembranen (z. B. Tannenholz, Baumwolle etc.) auch nach der sogenannten Reinigung durch Säuren und Alkalien immer noch unlöslicher sind, als manche andern, die keinerlei vorläufige Behandlung erfahren haben, und da umgekehrt die weichen und jedenfalls nicht stark incrustirten Membranen der Gallertflechten dem Kupferoxydammoniak widerstehen, während die meisten Holz- und Bastzellen der höhern Pflanzen sich darin lösen. Es ist wahrscheinlicher, dass hier die Molecularconstitution den Ausschlag gibt, und zwar im Allgemeinen in dem Sinn, dass wasserreichere Membranen, welche kleine Molecüle besitzen, sich leichter lösen als die festen. Die letzteren können zwar durch geeignete Mittel in einen löslicheren Zustand übergeführt werden; allein sie quellen dabei so stark auf, dass sie die Weichheit einer wasserreicheren Substanz annehmen, was natürlich eine entsprechende Veränderung der Molecularstructur voraussetzt. Daraus folgt, dass verschiedene Substanzen organisirter Gebilde nur dann eine Vergleichung zulassen, wenn sie annähernd gleiche Dichtigkeit oder Festigkeit besitzen.

484 3) Die Substanz der Zellmembranen (mit Ausschluss der Flechtenschläuche) wird durch Iod und Wasser allein nicht gebläut, sondern entweder gelblich, braungelb bis roth oder auch gar nicht gefärbt. Bei gleichzeitiger Einwirkung einer geringen Menge von

---

wenn man sie vorher mit Kalilauge und verdünnter Salzsäure behandelt, vollständig in Kupferoxydammoniak, während die Gefässe der Hölzer diesem Reagens Widerstand leisten. Erstere verhalten sich wie Paracellulose, nicht wie Vasculose. Aehnliche Unterschiede bestehen auch zwischen Holzzellen und Holzzellen, desgleichen zwischen den Markstrahlen krautartiger und holzartiger Pflanzen, und zwar in verschiedenen Abstufungen, — der niederen Gewächse, welche für sich allein die mannigfaltigsten Verhältnisse darbieten, nicht zu gedenken.

Uebrigens ist selbst bei den Hölzern, welche Frémy speciell untersuchte, eine Trennung der Markstrahlen vom Gewebe der Holzzellen in der angegebenen Weise nicht möglich, und auch in andern Punkten hat die Wiederholung der Frémy'schen Versuche wesentlich abweichende Resultate geliefert. (Vgl. Kabsch, Untersuchungen über die chemische Beschaffenheit der Pflanzengewebe; Pringsheim's Jahrb. III.)

Iodwasserstoffsäure oder eines Iodmetalls erfolgt blaue Färbung, indess steigende Mengen dieser Verbindungen einen violetten, rothen oder gelben Ton bedingen. Ebenso wird die Blaufärbung durch Schwefelsäure und Phosphorsäure vermittelt; es ist indess zweifelhaft, ob diese Säuren einen directen Einfluss üben oder ob sich unter ihrer Mitwirkung erst Iodwasserstoffsäure bildet, sei es durch Zersetzung des Alkohols im Reagens oder irgend einer organischen Verbindung im Präparat. Ob Chlorzink einen ähnlichen directen oder indirecten Einfluss übe, bleibt dahingestellt; jedenfalls wirkt die sogenannte Chlorzinkiodlösung vorzugsweise vermöge ihres Iodzink- und Iodkaliumgehaltes.

Die entgegengesetzten Angaben früherer Beobachter in Betreff der Blaufärbung mit Wasser und Iod finden ihre Erklärung darin, dass dieselben entweder ältere Iodtinctur gebrauchten, in welcher sich bereits Iodwasserstoffsäure gebildet hatte, oder bei Anwendung reiner Iodlösung die Bildung dieser Säure auf dem Objectträger veranlassten.

Was die Natur der Einwirkungen anbelangt, welche die genannten Säuren und Iodverbindungen ausüben, so sind dieselben nicht etwa als chemische und physikalische Veränderungen zu deuten, welche möglicherweise in der Membran stattfinden; denn es ist unter allen Umständen nothwendige Bedingung der Blaufärbung, dass die genannten Stoffe nicht bloss eingewirkt haben, sondern bei der Einlagerung von Iod anwesend seien. Wäscht man die mit Schwefelsäure oder Iodwasserstoffsäure etc. behandelten Membranen sorgfältig mit Wasser aus, so färben sie sich in reiner Iodlösung nicht mehr blau. Auch ist bekannt, dass beliebige andere Quellungsmittel als specifisch bläuende, wie z. B. Salzsäure, Salpetersäure, Kupferoxydammoniak etc., die erwähnte Iodreaction nicht vermitteln.

4) Die gelbe oder braungelbe Färbung, welche das Iod in manchen Membranen hervorruft, ist der Membransubstanz eigenthümlich; sie wird nicht etwa durch eingelagerte Proteinverbindungen bedingt. — Dieser Satz ergibt sich aus der Thatsache, dass viele Membranen (z. B. auf Längsschnitten von Begoniastengeln), in denen auf anderem Wege keine eiweissartigen Verbindungen nachgewiesen werden können, sich mit Iod sogar schöner und intensiver gelb oder braungelb färben, als das in den Zellen enthaltene Plasma. 485

5) Bezüglich der Farbennuance, welche die Einlagerung von Iod unter bestimmten Verhältnissen hervorruft, gelten die nämlichen Gesetze, wie für die Stärke. Die Menge des eingelagerten Iod be-

dingt auch hier im Allgemeinen nicht den Character, sondern nur die Intensität der Farbe; man kann jeden Ton (Gelb, Orange, Roth, Violett, Blau) durch wenig Iod hell, durch eine grössere Menge intensiv erhalten. Ein Farbenwechsel tritt nur ein, wenn während der Einwirkung von Iod sich Iodwasserstoffsäure bildet oder wenn die Membran aus einer Mischung von zwei Stoffen besteht, von denen der eine das Iod mit blauer, der andere etwas später mit gelber Farbe einlagert. Im ersteren Falle kann der gelbe Ton in der Richtung nach Blau, in letzterem in der Richtung nach Braun verändert werden, wie man diess z. B. an Flechtenschläuchen sehr schön beobachtet. Trockene Membranen werden durch Ioddämpfe ohne Ausnahme gelb bis schwarzbraun gefärbt, sie mögen sich im befeuchteten Zustande noch so verschieden verhalten.

6) Die Entfärbung der mit Iod gefärbten Membranen ist wie bei der Stärke mit einem mehr oder minder deutlichen Farbenwechsel verbunden, welcher in der Richtung von Blau durch Roth nach Gelb erfolgt; blaue Membranen können ihre Farbe am meisten, gelbe gar nicht verändern; die geringste Veränderung beobachtet man an feuchten, die grösste an trockenen Membranen. Dabei ist jedoch vorausgesetzt, dass während der Entfärbung weder ein Austrocknen des feuchten, noch ein Benetzen des trockenen Präparates stattfindet.

7) Das Austrocknen einer mit Wasser imbibirten, durch Iod gefärbten Membran bewirkt an und für sich keine Farbenveränderung; wenn aber im Imbibitionswasser eine Substanz gelöst ist, die beim Verdunsten concentrirt wird, so kann dieser Umstand, wie bei der Stärke, eine andere Anlagerung der Iodtheilchen und dadurch einen Farbenwechsel bedingen.

486 Die Regeln, welche sich aus den vorstehenden Sätzen für die Untersuchungsmethode ergeben, liegen eigentlich schon in den Sätzen selbst; doch dürfte es zweckmässig sein, einige Punkte noch besonders hervorzuheben. Zunächst ist zu unterscheiden, ob eine Membran durch die angewendeten Reagentien eine chemische oder physikalische Veränderung erfahre, d. h. ob sie nach dem Auswaschen des Lösungs- oder Quellungsmittels sich anders verhalte als vorher. Findet eine Structurveränderung statt, indem z. B. die aufgequollene Substanz auch nach dem Auswaschen gequollen bleibt, so ist es nicht gestattet, ein abweichendes Verhalten bloss auf Rechnung der »Reinigung« zu schreiben, welche allfällig durch Entfernung gewisser Einlagerungen erzielt wurde. Die beliebte Unterscheidung von Holz-

stoff und Zellstoff (vgl. Schacht, Mikr. p. 95), wovon der erstere in Kali und Salpetersäure löslich sein soll (weil diese Reagentien die Zellstoffreaction vermitteln), entbehrt demnach einer thatsächlichen Begründung. Ueberhaupt kann das Kochen in starken Säuren oder Alkalien, da es stets mit einer bleibenden Quellung verbunden ist, nicht als eine blosse Reinigungsprocedur betrachtet werden. Wo es darauf ankommt, lösliche Substanzen auszuziehen, ohne die zurückbleibenden unlöslichen zu verändern, darf folglich das gedachte Verfahren nicht eingeschlagen werden; die Lösung muss vielmehr durch möglichst langsame Einwirkung eines schwachen Reagens erfolgen.

In zweiter Linie ist zu berücksichtigen, dass wirkliche Unterschiede in der Löslichkeit a priori eine doppelte Erklärung zulassen. Am nächsten liegt natürlich die Annahme einer chemischen Verschiedenheit, und so lange man es mit einer einzigen Substanz zu thun hat, ist diese Annahme die einzig mögliche. Allein da die organisirten Gebilde aus zwei oder mehreren Substanzen bestehen, die sich gegenseitig durchdringen, so können die beobachteten Abweichungen auch ebensogut durch die Verschiedenheit der Molecularconstitution bedingt sein. Es ist nämlich denkbar, dass eine an und für sich lösliche Substanz in einem gegebenen Falle durch eine unlösliche, die sie vollständig umhüllt, geschützt wird, während sie in einem anderen Falle für das Lösungsmittel zugänglich ist und folglich ausgezogen werden kann. Solche Möglichkeiten sind bei der Deutung beobachteter Unterschiede jedenfalls in Betracht zu ziehen.

Bei Anwendung der Iodreaction endlich ist vor Allem auf Reinheit der Reagentien zu achten. Wo es gilt, die Färbung einer Membran durch Iod genau zu beobachten, thut man daher am besten, die Lösung auf dem Objectträger selbst zu bereiten, indem man metallisches Iod an den Rand des Deckgläschens oder zwischen die Objecte bringt. Auch ist es rathsam, das Experiment der Vergleichung wegen auch an solchen Präparaten zu wiederholen, welche vorher mit destillirtem Wasser ausgewaschen wurden, und die Einwirkung vom ersten Momente an zu beobachten. Tritt die Färbung bei hinreichender Concentration erst nach einiger Zeit ein, so ist zu vermuthen, dass sich unterdessen Iodverbindungen (gewöhnlich Iodwasserstoffsäure) gebildet haben, welche dieselbe vermitteln.

Will man das Iod auf die trockene Membran einwirken lassen, so lässt man dieselbe einige Zeit in einer Atmosphäre von Ioddämpfen liegen oder bringt sie in eine Lösung von Iod in absolutem Alkohol, in aetherischem Oel oder in concentrirtem Glycerin. Die Einlagerung

von Iod geschieht übrigens unter diesen Verhältnissen immer sehr langsam, so dass die Oberfläche dicker Membranen oft schon intensiv gefärbt erscheint, indess das Innere noch farblos ist.

487 Die hauptsächlichsten Verschiedenheiten, welche das Verhalten der Zellmembranen darbietet, findet man in folgender Zusammenstellung angegeben, welche dem Anfänger zugleich die zur Anstellung eigener Beobachtungen nöthige Uebersicht bieten wird.

*) Löslichkeitsverhältnisse.

1) In kaltem Wasser stark aufquellend, in kochendem verschwindend, d. h. wenigstens scheinbar gelöst.

Pflanzenschleim, wie z. B. die Verdickungsschichten der Samenhautzellen von Cydonia vulgaris, Linum usitatissimum etc., desgleichen der Schleim der Cacteen, der Salepknollen etc.

2) Löslich in concentrirter Schwefelsäure und in Kupferoxydammoniak.

Baumwolle, Bastfasern, Perisperm von Phytelephas (mehrfach bestätigt); desgleichen nach Frémy das Zellgewebe der Früchte und Wurzeln, welche Angabe jedoch von Kabsch (Pringsh. Jahrb. III) bezüglich des Kupferoxydammoniaks dahin gedeutet wird, dass Frémy die Intercellularsubstanz für die wahre Zellmembran gehalten habe. Das angebliche Pectosegewebe Frémy's würde hienach von den inneren Membranschichten, insbesondere von der dem Kupferoxydammoniak am meisten widerstehenden »primären Membran« gebildet. Uebrigens soll auch die Intercellularsubstanz sich nicht lösen, sondern bloss mehr oder weniger stark aufquellen.

3) Löslich in concentrirter Schwefelsäure, unlöslich in Kupferoxydammoniak, wird in diesem letzteren Reagens löslich durch vorhergehende Behandlung mit Säuren und Alkalien, sowie durch feuchte und trockene Wärme (Frémy). *)

Mark und Markstrahlen der Hölzer.

*) Frémy behandelte das Präparat mit Salzsäure in allmählich steigender Concentration zuletzt mit rauchender; oder er kochte dasselbe 24 Stunden lang in Wasser oder setzte es mehrere Stunden lang einer trockenen Wärme von 150° aus. Kabsch, welcher diese Versuche wiederholte, fand übrigens auch hier abweichende Resultate, und hebt namentlich hervor, dass zwischen Mark und

4) Löslich in concentrirter Schwefelsäure, unlöslich in Kupferoxydammoniak, wird in diesem letzteren Reagens löslich durch Behandlung mit der Schulze'schen Flüssigkeit.

Holzzellen von Pinus, Quercus, Taxus, porös-verdickte Zellen der Birnen und im Marke von Hoya carnosa, Bastzellen der Chinarinde, Spiralfasern aus Mamillaria quadrispina etc., desgleichen Pilz- und Flechtengewebe.

5) Unlöslich in concentrirter Schwefelsäure und in Kupferoxydammoniak, löslich in concentrirter kochender Kalilauge (Frémy).*)

Cuticula und Gefässmembranen (Frémy's Cutine und Vasculose).

**) Bläuung mit Iod.

1) Färben sich durch Iod und Wasser allein blau. Flechtenschläuche.

2) Färben sich durch Iod und Wasser allein nicht, sondern nur unter Mitwirkung einer Iodverbindung oder von concentrirter Schwefelsäure.

a) Bläuung tritt ein, nachdem das Präparat einige Zeit in reiner Iodlösung gelegen, wobei die Flüssigkeit, wahrscheinlich in Folge der Bildung von JH, eine saure Reaction annimmt.

Samenlappen von Hymenaea Courbaril, Mucuna urens; Sameneiweiss von Gladiolus, Iris, Androsace, Cyclamen.

b) Bläuung tritt ein nach ein- oder mehrmaligem Eintrocknen mit reiner Iodlösung, wobei sich ebenfalls Iodwasserstoffsäure bildet, oder auch nach längerer Einwirkung einer hinreichend concentrirten Iodwasserstoffsäure, die man direct zusetzt.

Dünnwandiges Rindenparenchym der meisten Pflanzen (s. Mohl, Verm. Schriften p. 344).

c) Bläuung tritt ein bei gleichzeitiger Einwirkung von concentrirter Schwefelsäure.

Markstrahlen ebenso bedeutende Verschiedenheiten bestehen, wie zwischen den Membranen der übrigen Gewebe.

*) Auch diese Angaben Frémy's stehen in Betreff der Einwirkung der Kalilauge mit den Beobachtungen von Kabsch im Widerspruch. Hienach würden nämlich die Gefässmembranen durch concentrirte kochende Kalilauge höchstens theilweise gelöst. Es will uns jedoch scheinen, die an den Seitenwandungen zurückgebliebenen »unregelmässig zerschlitzten Reste der Gefässmembran« sprechen weit eher zu Gunsten ihrer Löslichkeit, da eine Trennung der löslichen und unlöslichen Bestandtheile in der hier angedeuteten Weise nicht wohl anzunehmen ist.

Aeltere Parenchymzellen, innerer Theil der verdickten Holzzellen von Pinus und Abies, Bastfasern des Hanfes.

3) Zeigen die unter 2) angegebene Reaction erst nach vorhergegangener Behandlung mit Salpetersäure.

Alle Elementarorgane im Innern der Pflanzen, welche sich mit Iod und Schwefelsäure allein nicht blau färben, wie z. B. die äusseren Membranschichten der Holzzellen und Gefässe, die braunen Zellen im Umkreis der Gefässbündel bei Farren etc.

4) Zeigen die unter 2) angegebene Reaction erst nach vorhergegangenem Kochen in Kali.

Kork, Epidermis, Periderm.

***) Verhalten gegen Kupferoxydammoniak.

1) Die Membranen zeigen weder Färbung noch Quellung.

Oscillatoria viridis Vauch. (Weiss und Wiesner) *), manche einzellige Algen (Cramer), viele Flechten (Schwendener); ferner der Kork und die Zellstoffkeulen der Epidermiszellen von Ficus elastica (Cramer, im Widerspruch mit Weiss und Wiesner, welche hier Bläuung angeben).

2) Die Membranen färben sich, ohne zu quellen, etwas intensiver blau, als das umgebende Reagens.

Hüllhäute von Gloeocapsa opaca Näg. und Gloeocystis vesiculosa Näg., Membranen von Caulerpa prolifera, Callithamnion Plumula (Cramer); ferner die Membranen von Fucus vesiculosus, Echinoceras Hystrix, sowie der Holzzellen von Taxus baccata, Quercus und Pinus (Cramer, im Widerspruche mit Weiss und Wiesner, welche hier Bläuung mit Quellung angeben).

3) Das Reagens bewirkt zuerst Bläuung und hierauf eine deutliche, oft sehr starke Quellung.

Die meisten Algen, sehr schön z. B. Cladophora fracta Ktz. C. congesta Zan. Conferva brevi articulata Zan. (Weiss und Wiesner); ferner nach denselben Beobachtern (z. Th. im Widerspruch mit Cramer): Callithamnion abbreviatum Ktz. C. corymbiferum Ktz. Fucus vesiculosus, Gracillaria compressa, Stilophora pa-

*) Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd XLIV. 2. Abth.

pillosa u. a.; desgleichen unter den Phanerogamen die Holzzellen von Taxus baccata, Pinus Cembra, Larix europaea, Pinus Picea, Acer Pseudoplatanus, Vitis vinifera etc. und ebenso alle untersuchten Parenchymzellen und Epidermiszellen (die Cuticula und die cuticularisirten Schichten färben sich mattgelb).

4) Das Reagens bewirkt Quellung und zuletzt Lösung.

Baumwolle, Bastfasern, Perisperm von Phytelephas (Cramer); Zellgewebe der Früchte und Wurzeln (Frémy, im Widerspruch mit Kabsch, welcher bloss Quellung beobachtete).

7. Proteinverbindungen.

Auf das in den Lehrbüchern erwähnte Verhalten der Protein- 488
verbindungen gegen Salpetersäure, Schwefelsäure in Verbindung mit Zucker, gegen das Millon'sche Reagens etc. gründen sich ebenso viele mikrochemische Prüfungsmethoden, als charakteristische Farbenreactionen der genannten Stoffe bekannt sind. Diese Methoden führen indess zu nicht ganz übereinstimmenden Ergebnissen, d. h. die Abgrenzung der Proteinstoffe in mikroskopischen Präparaten fällt verschieden aus, je nachdem man dieselben mit dem einen oder mit dem andern Reagens prüft. Die sogleich zu erwähnende violette Reaction, welche Kupfervitriol mit Kali hervorruft, tritt z. B. in den Zellen des gestreckten Parenchyms nicht mehr ein, obschon dieselben nach wie vor ein mit Iod sich gelb färbendes Plasma enthalten. Daraus folgt aber, dass entweder dieses Plasma kein Proteinstoff mehr ist oder dass die erwähnte Reaction nur bestimmte Modificationen der Proteinstoffe charakterisirt. Das Eine wie das Andere ist möglich. Zu der nämlichen Alternative führen auch die übrigen Reagentien; ausserdem kommt bei einigen noch der weitere Uebelstand hinzu, dass sie in gleicher Weise auch auf Stoffe reagiren, welche entschieden keine Proteinstoffe sind.

Unter diesen Umständen kann von einem zuverlässigen Reagens auf Proteinverbindungen eigentlich nicht die Rede sein. Man wird je nach Umständen bald dem einen, bald dem andern den Vorzug geben und nöthigenfalls mehrere Reactionen combiniren, um in der Deutung der beobachteten Thatsachen möglichst sicher zu gehen.

Eine für manche Untersuchungen (z. B. über Stoffwanderungen) 489
sehr empfehlenswerthe Methode, Proteinverbindungen in den Zellen

nachzuweisen, besteht in der Behandlung derselben mit Kupfervitriol und Kali, ganz so wie es oben bei Besprechung der Zucker- und Dextrinprobe ausführlich erörtert wurde. Die Gegenwart der Proteinverbindungen gibt sich hiebei im gelösten Zustande dadurch zu erkennen, dass der wässerige Zellinhalt, ohne sich zu trüben, eine schön violette Färbung annimmt, und ebenso im ungelösten Zustande durch eine gleiche Färbung der Substanz. Alle Stoffe aus der Gruppe der eiweissartigen Verbindungen, soweit sie makrochemisch näher bekannt sind, verhalten sich in dieser Hinsicht, den Untersuchungen von Piotrowsky und Czermak zufolge, vollkommen gleich; Hühnereiweiss, Casein, Legumin aus Bohnen, Kleber aus Getreidekörnern geben sämmtlich dieselbe violette Reaction. Die übrigen stickstoffhaltigen Verbindungen, desgleichen die Kohlenhydrate, reagiren dagegen nicht oder in deutlich verschiedener Weise.

In diesem letzteren Umstande liegt der Hauptvorzug des gedachten Verfahrens vor den meisten andern, durch welche man sonst die eiweissartigen Stoffe nachzuweisen pflegt. Die bekannte Iodreaction ist nicht bloss bei allen stickstoffhaltigen Verbindungen ungefähr dieselbe, das Iod färbt auch gewisse Cellulosearten, wie bereits oben erwähnt, ebenso intensiv braungelb, als das in den Zellen enthaltene Plasma. Das Nämliche gilt von der Salpetersäure; die gelbe Färbung, welche die mit starker Säure behandelten Proteinverbindungen charakterisiren soll, tritt hie und da auch in den Membranen fast ebenso deutlich hervor, ohne dass eine Einlagerung von Proteinsubstanzen auf irgend eine andere Weise nachweisbar wäre. Die Salpetersäure wird überdiess nur zum Nachweis von eiweissartigen Verbindungen, die sich im festen Zustande befinden, empfohlen; in Lösungen wird der gelbe Ton durch den vorwiegenden Wassergehalt leicht bis zur Unmerklichkeit abgeschwächt. *)

Ein drittes Reagens, bestehend in Zuckersolution und concentrirter Schwefelsäure, entspricht zwar den Anforderungen in Bezug auf Empfindlichkeit besser; man erhält, wenn man das

*) Harting (Mikr. p. 471), welcher die Reaction von Kupfervitriol und Kali nicht kannte, gibt der Salpetersäure als Reagens auf ungelöste Proteinverbindungen den Vorzug. Er empfiehlt die Ernährungsflüssigkeit, welche namentlich bei thierischen Geweben immer Proteinverbindungen enthält, vorerst durch sorgfältiges Auswaschen des Präparates zu entfernen und die Salpetersäure nur auf die zurückbleibenden gereinigten Elementartheile einwirken zu lassen. Wenn alsdann in den isolirt daliegenden Fasern eine gelbe Färbung hervortrete, die beim Zusatz von Alkalien noch zunehme, so sei man sicher, dass Protein zu den Bestandtheilen der Fasern selbst gehöre.

Präparat mit starker Zuckerlösung benetzt und hierauf die Säure zufliessen lässt, auch in ziemlich verdünnten Lösungen einen röthlichen Ton. Allein es ist wahrscheinlich, dass die nämliche oder wenigstens eine sehr ähnliche Farbenveränderung auch bei manchen andern Substanzen eintritt, die nicht zur Gruppe der Proteinverbindungen gehören, ja nicht einmal stickstoffhaltig sind. Wir erinnern in diesem Betreff an die bekannte Reaction des Salicin und an die nahekommende des von Hartig entdeckten Abietin (im Cambialsafte der Tannen). Böhm *) will sogar gefunden haben, dass die Färbung der Zellmembran oder des Zellinhaltes mit Schwefelsäure und Zucker (oder mit Chlorwasserstoffsäure) überhaupt nicht durch Eiweisssubstanzen, sondern durch Chromogene oder Farbstoffe bedingt werde.

Was endlich das Millon'sche Reagens betrifft, welches die Proteinsubstanzen im gelösten wie ungelösten Zustande ziegelroth färbt, besonders wenn das Präparat erhitzt wird, so leidet dasselbe, wie die Salpetersäure, an zu geringer Empfindlichkeit, wodurch es namentlich bei Lösungen unzuverlässig wird.

Die näheren Eigenschaften der verschiedenen gelösten und un- 490
gelösten Proteinverbindungen sind zur Zeit noch viel zu wenig erforscht, als dass eine Scheidung derselben unter dem Mikroskop ausführbar wäre. Der Beobachter stösst sogar hie und da auf Erscheinungen, welche — obschon sie wahrscheinlich nur von Proteinverbindungen herrühren — mit den Angaben, die man hierüber in den chemischen Lehrbüchern findet, in directem Widerspruch stehen. Dahin gehören z. B. die Niederschläge, welche zuweilen im wässerigen Zellsaft auf Zusatz von Ammoniak oder Kali entstehen, desgleichen die Differenzen im Verhalten des Plasmas gegen Kali und andere Lösungsmittel.

Unter diesen Verhältnissen erachten wir es für zweckmässig, die Resultate einer neueren Arbeit von Günsberg **), soweit sie dem Mikroskopiker als Fingerzeige dienen können, hier im Auszuge mitzutheilen.

Wird eine durch Kochen des rohen Klebers mit Weingeist erhaltene klare Lösung des Gliadins oder Pflanzenleims auf dem Wasserbade zur Trockne gebracht, so gibt diese trockene Masse an kaltes

*) Beiträge zur näheren Kenntniss der Genesis und Function von Pflanzen-Farbstoffen. Sitzgsber. der kais. Akad. der Wiss. in Wien. Bd. 45. 2. Abth. p. 399.

**) Ueber die in Wasser löslichen Bestandtheile des Weizenklebers. Sitzungsberichte der kais. Akad. der Wiss. in Wien. Bd. 44. 2. Abth.

Wasser einen dunkelbraun gefärbten stickstoff- und schwefelhaltigen Körper ab, welcher nach genauen Analysen vollkommen identisch ist mit der in kaltem Wasser löslichen Substanz, die man direct durch Kochen des Klebers mit Wasser erhält. Ebenso ist auch der in kaltem Wasser unlösliche, in kochendem lösliche Theil des Gliadins identisch mit einem leimartigen Körper, welcher aus dem durch Kochen des Klebers erhaltenen Auszug beim Erkalten sich ausscheidet. Es geht daraus hervor, dass diese braune Substanz ein Bestandtheil des Klebers ist und dass der Körper, der bis jetzt Pflanzenleim oder Gliadin genannt wurde, aus einem Gemenge zweier Substanzen besteht, welche sowohl in ihrem Verhalten als in ihrer Zusammensetzung ganz verschieden sind.

Das Verhalten des in kochendem Wasser löslichen, in kaltem unlöslichen leimartigen Körpers gegen chemische Reagentien ist in mancher Beziehung eigenthümlich und es ist nicht unwahrscheinlich, dass die analogen Erscheinungen, die man unter dem Mikroskop beobachtet, hierin ihre Erklärung finden. Wir heben folgende Punkte hervor.

1) Schwach angesäuertes Wasser, das kaum sauer reagirt, löst den Körper mit Leichtigkeit, ohne dass die Säure neutralisirt wird. Durch Zusatz von nur etwas mehr Säure entsteht in der Lösung eine starke Trübung, welche bei Zusatz von mehr Säure wieder verschwindet. Ein ähnliches Verhalten zeigt dieser Körper auch gegen Alkalien.

2) Mit concentrirter Schwefelsäure und Zucker in Berührung färbt sich der Körper nicht violett, er löst sich aber allmählich und in dem Maasse als er sich löst, färbt sich die Flüssigkeit rosenroth und nach vollständiger Lösung dunkel violettroth.

3) Galläpfelinfusion bringt in der Lösung einen schmutzig bräunlichgelben Niederschlag hervor, welcher in Säuren unlöslich, in Alkalien aber löslich ist.

4) Durch gelbes und rothes Blutlaugensalz wird die Lösung des Körpers in angesäuertem Wasser gefällt.

5) Sublimatlösung und die von salpetersaurem Quecksilberoxydul bringen weisse Niederschläge hervor.

Zehnter Abschnitt.

Morphologie.

Zur Morphologie im weiteren Sinne des Wortes gehört die ganze 491
Lehre vom Aufbau der Organismen aus den Elementen, woraus sie bestehen, — von den Molecülen, welche die Bausteine der Zelle bilden, bis hinauf zu den Einheiten der höchsten und letzten Ordnung, welche den vielfach gegliederten Bau der höheren Gewächse zusammensetzen. Die Morphologie hat zu ermitteln, unter welchen bestimmten Form- und Lagerungsverhältnissen die Molecüle und Molecularschichten sich vereinigen, um die Zelle und deren Theile zu bilden und während des Wachsthums weiter auszubauen; sie hat hierauf die Zelle als gegeben zu betrachten und zu untersuchen, nach welchen Gesetzen die Vermehrung derselben erfolgt, wie gleichsam Zelle auf Zelle gesetzt wird, um die grossen Complexe zu bilden, die wir als Organe kennen; sie hat ferner die Differenzirungen zu verfolgen, welche in solchen Zellcomplexen nachträglich stattfinden, und endlich auch die Entwicklung neuer Organe aus schon vorhandenen, sowie die Natur und die Stellungsverhältnisse derselben in Betracht zu ziehen. Alle diese Verhältnisse sind ausschliesslich oder vorzugsweise Gegenstand mikroskopischer Untersuchung; wir erachten es demgemäss als unsere Aufgabe, die Methoden, welche beim Studium derselben zu beobachten sind, hier eingehend zu erörtern.

I.

Aufbau der organisirten Substanzen.

1. Stärkekörner und Zellmembranen.

a) Anatomie.

492 Ueber die Anordnung der Molecüle in Schichten und Reihen, worauf es zunächst ankommt, geben uns die dem bewaffneten Auge sichtbaren Schichten und Streifen, von denen bereits oben bei Besprechung der Quellungserscheinungen die Rede war, die zuverlässigsten Anhaltspunkte. Die Polarisationserscheinungen können nur da als Kriterium dienen, wo die Molecularreihen der optisch wirksamen Schichten sich rechtwinklig kreuzen, weil in jedem andern Falle eine bestimmte Beziehung zwischen den Elasticitätsaxen und der Richtung der Molecularreihen nicht besteht.

Da nun die Schichtung und Streifung auf der Abwechslung wasserreicher Substanz mit wasserarmer beruht, so besteht die nächste Aufgabe des Beobachters darin, diese Abwechslung möglichst deutlich zu machen und dieselbe auch in Fällen, wo sie unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht wahrnehmbar ist, nachzuweisen. Man erreicht diesen Zweck in der Regel schon durch Zusatz eines mehr oder weniger concentrirten Quellungsmittels zu dem unveränderten Präparat. So zeigen z. B. viele Bastzellen, die in Wasser beinahe homogen erscheinen, nach der Einwirkung starker Säuren zahlreiche und deutliche Schichten, manche derselben auf Flächenansichten auch spiralige Streifung. Ebenso wird bei Stärkekörnern die in reinem Wasser undeutliche Schichtung in schwachen Säuren und Alkalien meist sichtbarer. Es ist überhaupt immer ein bestimmtes Quellungsstadium, in welchem der Gegensatz zwischen weicher und dichter Substanz sich am deutlichsten kundgibt.

In anderen Fällen, namentlich bei stark verholzten Membranen, ist die Anwendung zweier oder auch mehrerer Reagentien nothwendig, um die feinen Streifensysteme zur Wahrnehmung zu bringen. Ein bei Holzzellen von Abies, Pinus u. a. zweckmässiges Verfahren ist folgendes. Man kocht die in grösserer Zahl angefertigten Schnitte in einem Reagensgläschen mit verdünnter Salpetersäure, bis die gelbe Färbung, welche das Präparat zuerst annimmt, wieder verschwunden ist. Die Zellen lassen sich in diesem Stadium, wenigstens bei dünneren Schnitten, leicht von einander trennen. Die Schnitte werden hierauf ausgewaschen oder sammt der Flüssigkeit in

eine Schaale mit Wasser ausgegossen, dann einzeln oder zu mehreren auf den Objectträger gebracht und hier mit concentrirter Schwefelsäure behandelt. Es ist leicht, die letztere so zuzusetzen, dass das Präparat alle möglichen Uebergänge zwischen vollständiger Auflösung und beginnender Quellung zeigt. — Um den optischen Gegensatz zwischen dichten und weichen Streifen noch zu erhöhen, thut man gut, die mit Salpetersäure gekochten Zellen mit Iod zu färben, bevor man das Quellungsmittel zusetzt, indem durch die ungleiche Einlagerung der Iodtheilchen eine ungleiche Widerstandsfähigkeit der verschiedenen Streifen und eine ungleiche Intensität der Färbung bewirkt und dadurch der Contrast gesteigert wird.

Sind die Membranen gallertartig, wie bei den Epidermiszellen mancher Früchte und Samen, so thut man oft gut, dieselben mit Iodlösung eintrocknen zu lassen und hierauf die Quellung durch verdünnte Iodwasserstoffsäure hervorzurufen.

Nicht zu verwechseln mit der auf ungleichem Wassergehalt be- 493
ruhenden Schichtung und Streifung der Membranen sind die oft ähnlich aussehenden Zeichnungen, welche durch wellenförmige Fältelungen oder durch Unebenheiten der Oberfläche hervorgerufen werden. Erstere sind bei aufgequollenen oder in Weingeist aufbewahrten Membranen, desgleichen bei gallertartigen, welche eingetrocknet waren und wieder aufgeweicht werden, eine häufige Erscheinung und hier offenbar Folge der ungleichmässigen Aufnahme oder Abgabe von Imbibitionsflüssigkeit. Eine Verwechslung derselben mit wahrer Streifung ist jedoch bei einiger Vorsicht leicht zu vermeiden, da die Falten bald im Querschnitt, bald im Längsschnitt, zuweilen auch auf beiden direct gesehen werden. Ebenso lassen sich auch die Unebenheiten der Oberfläche auf Durchschnitten direct beobachten und sind unter Umständen schon auf Flächenansichten daran zu erkennen, dass sie nur bei einer bestimmten Einstellung scharf hervortreten. Die von der Messerklinge herrührenden Streifungen der Schnittfläche, sowie die zarten Risse, welche beim Durchschneiden hornartiger Gewebe sich bilden, sind überdiess dadurch charakterisirt, dass sie über den ganzen Schnitt parallel verlaufen.

In Fig. 216 ist beispielsweise die Aussenwand der Epidermiszellen von *Hyacinthus orientalis* im Längsschnitt und in der Flächenansicht dargestellt. Der Längsschnitt (*A*) zeigt regelmässige, genau parallele und häufig gleich weit von einander entfernte Querstreifen, welche die Membranschichten rechtwinklig durchsetzen.

Die letzteren sind sehr zart, oft sogar weniger deutlich als die Streifen; nur die innerste Schicht erscheint vermöge ihrer grössern Dichtigkeit scharf abgegrenzt. Die Falten oder Kerben, welche diese Schicht zeigt, sind schon im frischen Zustande augenfällig, nach dem Austrocknen aber viel stärker; sie bedingen die in der Flächenansicht (*B*) dargestellte Querstreifung. Die breitern dunkeln Streifen entsprechen den Erhabenheiten, die dazwischen liegenden hellen den Einkerbungen der Membranfläche. Rechtwinklig dazu verlaufen zarte Längsstreifen.

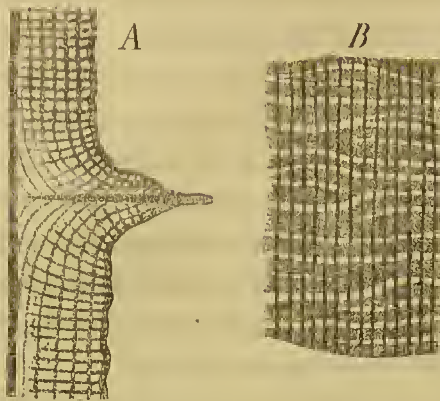


Fig. 216.

494 Der Verlauf der Schichten und Streifen, sowie die Art, wie sich die verschiedenen Systeme räumlich combiniren, verdienen besondere Beachtung. Was zunächst die Schichten betrifft, so sind dieselben von vorne herein als Lamellen zu betrachten, welche im Allgemeinen der Oberfläche der Complexe parallel gehen, und daher mit Bezug auf die ganze Zelle oder das ganze Korn als in einander geschachtelte Blasen oder Blasenstücke; es kann sich also nur noch um die Frage handeln, wie sich bei ungleicher Zahl der Schichten auf den verschiedenen Radien des Systems die einen an die anderen anschliessen, d. h. wie der Uebergang von einer geringern zu einer grössern Zahl von Schichten stattfinde. Die Frage ist erledigt, sobald es möglich ist, Verlauf und Ansatz der Schichten für jede einzelne derselben zu construiren oder wenigstens in der Hauptsache richtig darzustellen.

Bei den Streifen kommen dagegen noch andere Punkte von vorwiegender Bedeutung hinzu. Es fragt sich zunächst, ob die sich kreuzenden Streifensysteme, die wir an ganzen Membranen oder an Schichtencomplexen in der Flächenansicht wahrnehmen, in jeder einzelnen Schicht sich gegenseitig durchsetzen, oder ob die Streifen in der nämlichen Schicht nur nach einer Richtung, je in der vorhergehenden und folgenden aber nach der entgegengesetzten Richtung verlaufen und dadurch den Effect der Kreuzung hervorrufen.

Um diess zu entscheiden, genügt zuweilen schon die genaue Beobachtung der parketähnlichen Zeichnung, welche die Kreuzung

bedingt, beim Höher- und Tieferstellen des Focus. Wenn hiebei die Seitenpaare der rhombischen oder rectangulären Felderchen bei der nämlichen Einstellung ihre grösste Deutlichkeit erreichen und bei Focusveränderungen gleichzeitig verschwinden und gleichzeitig wieder erscheinen, wenn sie überhaupt immer dasselbe Verhältniss der Deutlichkeit beibehalten; dann ist eine Uebereinanderlagerung abwechselnd nach rechts und links geneigter Schichten im höchsten Grade unwahrscheinlich und in Fällen, wo die einzelnen Schichten im Durchschnitt sich verhältnissmässig dick erweisen und überdiess die Zeichnung nur in den dichten Schichten deutlich hervortritt, fast unmöglich. In diesem letztern Falle würde nämlich die Kreuzung durch zwei übereinander liegende dichte Schichten hervorgerufen, und es ist kaum denkbar, dass die dadurch bedingte Niveaudifferenz der sich kreuzenden Linien im Bilde nicht bemerkbar sei.

Grössere Sicherheit, als solche Flächenansichten, gewährt jedoch immer die Beobachtung der Streifen auf Durchschnitten senkrecht zur Membranfläche. Die Schnitte werden am besten so geführt, dass sie dem einen Streifensystem annähernd parallel gehen. Das andere erscheint alsdann als radiale Streifung, und wenn die Zeichnung nur einigermaassen deutlich ist, so lässt sich leicht beobachten, ob die einzelnen Streifen durchgehen und folglich allen Schichten angehören, oder ob nur je die zweite Schicht die fragliche Abwechslung von Hell und Dunkel zeige.

Auf die Fälle, in welchen grössere Schichtencomplexe, wie z. B. die innere und äussere Hälfte einer stark verdickten Membran, verschiedenläufige Streifungen zeigen, haben wir nicht nöthig, besonders aufmerksam zu machen, da die richtige Auffassung solcher Verhältnisse bei einiger Aufmerksamkeit keine Schwierigkeit macht.

Ein zweiter Punkt, den der Beobachter ins Auge zu fassen hat, ist die Art und Weise des Verlaufs. Es handelt sich darum, zu entscheiden, ob die einzelnen Streifen, sie mögen nun ein einziges oder zwei sich kreuzende Systeme bilden, spiralig verlaufen, oder ob sie quer oder schief gestellte Ringe bilden, indem jeder einzelne Streifen in seinem Verlaufe um die Zelle in sich selbst zurückkehrt. Die Beantwortung dieser Frage ist namentlich bei Zellen mit dicker Wandung und kleinem Lumen keineswegs leicht zu nennen: sie setzt jedenfalls voraus, dass man sich die Sache räum- 495

lich und perspectivisch klar vorstelle, genau beobachte und die Bilder, welche die verschiedenen Einstellungen gewähren, richtig combinire. Bestimmte Regeln hierüber lassen sich indess schon wegen der Mannigfaltigkeit der Fälle nicht wohl geben; es mag genügen, wenn wir in Fig. 217 ein Beispiel einer scheinbaren Spiralstreifung, die sich aber bei genauerer Untersuchung als Ringstreifung erweist, veranschaulichen.

Die Figur stellt die mit Schwefelsäure behandelten Längsansichten dickwandiger Holzzellen von *Abies excelsa* dar. Die Streifung ist nur stellenweise deutlich. In *A* sind die beiden sich kreuzenden Systeme gleich gegen die Axe geneigt und gewähren auf den ersten Blick ganz den Eindruck von Spiralstreifen. In Wirklichkeit sind es aber aufrecht stehende Scheiben, welche sich in einer rechtwinklig zur Axe verlaufenden Linie durchschneiden und dem entsprechend ihre Lage zum Auge beim Drehen der Zelle verändern. Nach einer Viertels-Umdrehung erscheinen die Streifen rechtwinklig zur Axe gestellt und wegen der jetzt schiefen Lage der Scheiben sehr undeutlich (*B*); nach einer halben Umdrehung gelangt man wieder zu dem in *A* dargestellten Stellungsverhältniss. — Die Ringstreifen zeigen übrigens nicht immer die angedeutete symmetrische Anordnung. Sie können in der Art unsymmetrisch gestellt sein, dass man auf einmal nur ein Streifensystem deutlich im Profil sieht, indess das andere erst nach einer kleinen Drehung seine grösste Schärfe erreicht. Die beiden Systeme erscheinen alsdann nie parallel, sondern kreuzen sich immer noch unter einem kleinen Winkel.

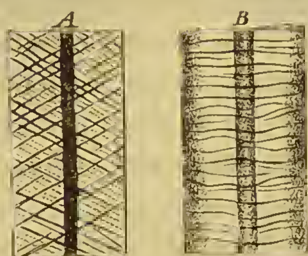


Fig. 217.

496 Es kann endlich vorkommen, dass bei Untersuchung der Streifungen noch eine dritte Frage von mehr mathematischer Natur sich aufdrängt. Zuweilen beobachtet man nämlich, dass ausser den beiden sich kreuzenden Spiralsystemen, welche die Membranfläche zeigt, bei günstiger Spiegelstellung noch ein drittes System hervortritt, welches die Richtungen der beiden andern (von denen jedoch bei gleicher Spiegelstellung höchstens das eine bemerkbar ist) schiefwinklig schneidet. Die Vermuthung liegt alsdann nahe, es möchte dieses System, ähnlich wie bei Pleurosigma angulatum, eine optische Wirkung der nämlichen Areolen sein, welche die beiden stärkeren

Systeme hervorrufen; allein es bleibt immerhin zu untersuchen, ob diese Vermuthung mit der Wirklichkeit übereinstimmt. Diess geschieht in folgender Weise.

Man misst die Winkel, welche je zwei der bemerkbaren Systeme unter sich bilden, desgleichen die Abstände zweier benachbarter Streifen in jedem System. Beides ist mit ziemlicher Annäherung möglich. Die Abstände seien für das 1., 2. und 3. System beziehungsweise a, b und c; der Winkel zwischen System 1 und 2 sei $= \alpha$, zwischen 2 und 3 $= \beta$, zwischen 1 und 3 $= \gamma$. Dann bestehen unter der Voraussetzung, dass die 3 Streifensysteme durch die nämlichen Areolen gebildet werden, die Relationen

$$a = \sin \alpha\,;\; b = \sin \beta\,;\; c = \frac{\sin \alpha \sin \beta}{\sin \gamma}\,.$$

Es sind bis jetzt keine Fälle bekannt, in welchen diese Bedingungen nicht erfüllt wären.

Die bisherigen Untersuchungen über Schichtung und 497
Streifung*) haben bezüglich der Anordnung der dichten und weichen Partieen im Raume zu dem Ergebniss geführt, dass die Membransubstanz aus drei verschiedenen Systemen von abwechselnd dichten und weichen Lamellen besteht, welche sich ähnlich, wie die Blätterdurchgänge eines Krystalls, gegenseitig durchsetzen. Das eine dieser Lamellensysteme hat immer die nämliche Lage zur Zelle: es ist die concentrische Schichtung der Membran. Die beiden andern sind dagegen sehr verschieden gestellt; sie gehen bald der Längs- und Querrichtung der Zelle, bald beliebigen schiefen Richtungen parallel und kreuzen sich dabei unter sehr verschiedenen Winkeln: diese bedingen die Streifung der Membran. Bei der spiraligen Streifung stehen die alternirend dichten und weichen Lamellen der beiden Spiralsysteme meist senkrecht auf den concentrischen Schichten; sie schneiden daher mit diesen abwechselnd dichtere und weichere, rectanguläre oder orthorhombische Prismen ab, welche ebenso viele übereinander liegende Lagen bilden, als Schichten vorhanden sind. Die relative Dichtigkeit dieser Prismen richtet sich bei jedem einzelnen nach der Dichtigkeit der Lamellen, durch deren Kreuzung dasselbe gebildet wird. Wenn wir beispielsweise annehmen, die dichten und weichen Lamellen haben in jedem der drei Systeme eine an-

*) Siehe die Abhandlung von Nägeli in den Sitzgsber. der k. bayer. Akad. der Wiss., Vortrag vom 7. Mai 1861.

dere Dichtigkeit, so dass sie im Ganzen 6 verschiedene Abstufungen repräsentiren, so erhalten wir für jede Membranschicht und für jede Streifenlamelle eine vierfach verschiedene Dichtigkeit der Prismen und im Ganzen eine Zusammensetzung aus Prismen von 8 verschiedenen Dichtigkeitsgraden. *)

Das Nämliche gilt auch für die Ringstreifung, sofern die Ringe genau quergestellt sind und sich mit Längsstreifen combiniren; die Prismen sind alsdann rectangulär. Bei der gewöhnlichen schiefen Ringstreifung ist dagegen die räumliche Anordnung der drei Systeme complicirter. Die elementaren Prismen, welche durch die Kreuzung entstehen, haben hier eine an den opponirten Punkten der Zelle zwar gleiche, aber mit der Richtung des Durchmessers stetig wechselnde Gestalt, weil der Winkel, unter welchem die Ringe sich in den concentrischen Schichten der Zellhaut kreuzen, mit der Lage des Kreuzungspunktes sich ändert. Dieser Winkel erreicht nämlich, wie bereits oben bemerkt, an zwei opponirten Punkten die grösstmögliche Oeffnung und wird an zwei andern, welche um $\frac{1}{4}$ des Umfanges davon abstehen, gleich Null; dazwischen liegen die Uebergänge. Dieselben Winkelveränderungen müssen daher auch die Prismen, welche durch die beiden Ringsysteme abgeschnitten werden, in jedem Quadranten des Zellumfanges durchlaufen.

Es gibt Zellen, welche stellenweise deutliche Ringstreifung, an andern Stellen dagegen Spiralstreifung zeigen; an Bastzellen beobachtet man öfters, dass die beiden Streifungen in bestimmten Intervallen alterniren. Ueberdiess kommen Verschiedenheiten mit Rücksicht auf Neigung und Deutlichkeit vielfach vor.

Ob ausser der Spiral- und Ringstreifung noch andere Typen von wesentlich abweichendem Charakter vorkommen, muss durch weitere Untersuchungen ermittelt werden. Ebenso ist über die Entwickelungsgeschichte der Streifen zur Zeit kaum etwas Sicheres bekannt.

498 Ueber die Formverhältnisse der Membran, ihre Erhabenheiten und Vertiefungen und die dadurch bedingte gröbere Zeichnung

---

*) Die Combinationen, welche unter den gegebenen Verhältnissen mit 6 verschiedenen, paarweise auf die 3 Systeme zu beziehenden Dichtigkeiten 1, 2 ‖ 3, 4 ‖ 5, 6 möglich sind, sind folgende:

1 3 5	2 3 5	1 3 6	2 3 6
1 4 5	2 4 5	1 4 6	2 4 5

Es können natürlich nie zwei Ziffern, die sich auf dieselbe Fläche beziehen, nebeneinander figuriren.

derselben können wir uns kurz fassen. Es wurde bereits in einem frühern Abschnitt (Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung p. 215) die Frage erörtert, wie solche Unebenheiten in schwierigeren Fällen von den optisch gleich wirkenden Streifungen und ähnlichen Dichtigkeitsverschiedenheiten zu unterscheiden seien, und für die leichteren Fälle ist mit Rücksicht hierauf eine Besprechung ohnehin überflüssig. Wir beschränken uns daher auf die Hervorhebung einiger Punkte, deren Studium in dieser oder jener Hinsicht besondere Aufmerksamkeit erheischt.

Dahin gehört zunächst die bei der Untersuchung von Poren oft wiederkehrende Frage, ob an einer bestimmten Stelle im Porenkanal eine von der sogenannten primären Membran gebildete Scheidewand vorhanden sei oder nicht. Bekanntlich weichen die Angaben verschiedener Beobachter gerade in diesem Punkte hie und da sehr von einander ab, und die Differenzen der Anschauung, welche in Betreff der Siebporen und der Entstehungsweise der Porenhöfe sich geltend gemacht haben, stehen damit in Zusammenhang. Die Möglichkeit der Täuschung und der Controversen entspringt in diesen streitigen Fällen aus der nämlichen Quelle: es ist diess die beträchtlich grössere oder geringere Dichtigkeit einer dünnen, mittleren oder äusseren Lamelle der Zellhaut, der sogenannten primären Membran, welche vermöge der ungleichen Lichtbrechung, die sie bedingt, auch da den täuschenden Schein einer Scheidewand hervorruft, wo eine solche nicht vorhanden ist. Dazu kommt dann allerdings noch der weitere Umstand, dass die wirklichen Scheidewände in älteren Entwicklungsstadien der Zelle nicht selten wieder resorbirt werden; doch sind die Fehler, welche dadurch veranlasst werden können, unschwer zu vermeiden, indem man die Zellen in verschiedenen Entwicklungsstadien und zwar vorzugsweise in den jüngern untersucht. Was dagegen die Gefahr der optischen Täuschung betrifft, so ist hier jedenfalls die grösste Vorsicht erforderlich. Das beste Mittel, dieselbe zu umgehen, bestände natürlich in der Herstellung von Präparaten, in welchen der Porus sowohl auf der zugekehrten als abgekehrten Seite angeschnitten und daher nur mit seinem mittlern Theil wirksam wäre; allein daran ist bei der Kleinheit des Porus in den meisten Fällen gar nicht zu denken. Es bleibt in der Regel nichts anderes übrig, als die besten Schnitte, die man bekommen kann, möglichst sorgfältig zu untersuchen, und zwar nicht bloss in Wasser, sondern auch in stärker brechenden Medien, welche die optische Wirkung der mittlern Lamelle schwächen oder aufheben. Ist der Porus mit Plasma

gefüllt, so gibt zuweilen das Verhalten dieses letztern auf Zusatz von Reagentien oder auch ohne dieselben einige weitere Anhaltspunkte.

Die Form der Poren ist bei einiger Aufmerksamkeit leicht zu bestimmen, da hierüber die Flächenansichten der Membran in Verbindung mit geeigneten Durchschnitten senkrecht zur Fläche alle erforderlichen Anhaltspunkte darbieten. Dessenungeachtet werden manche Eigenthümlichkeiten der Form, wie z. B. die wendeltreppenartige Drehung bei spaltenförmigen Porenkanälen und ähnliche Dinge leicht übersehen.

499 In Fällen, wo sich Formverhältnisse mit Dichtigkeitsverschiedenheiten in complicirter Weise combiniren, wie z. B. bei den Siebwänden von Cucurbita, ist es zweckmässig, dünne Schnitte durch das betreffende Gewebe in Gummi eintrocknen zu lassen und dann in einer zur früheren rechtwinkligen Richtung abermals zu durchschneiden. Man erhält auf diese Weise Präparate, welche nicht nur die äussern Formverhältnisse des zu untersuchenden Objectes, sondern auch die räumliche Vertheilung der dichten und weichen Partieen im Innern und damit den ganzen Auf- und Ausbau desselben zu ermitteln gestatten.

b) Wachsthum.

500 Um die Wachsthumsweise der Stärkekörner und Membranen zu ermitteln, müssen zunächst die im Vorhergehenden besprochenen anatomischen Verhältnisse, insbesondere der Schichtenverlauf, genau festgestellt und jüngere und ältere Stadien, wie bei allen entwicklungsgeschichtlichen Untersuchungen, mit einander verglichen werden. Dabei ist wohl zu berücksichtigen, dass das blosse Vorhandensein von Schichten, welches auch ihre Lagerung sein mag, sich a priori mit sehr verschiedenen Bildungsgesetzen vereinbaren lässt: es kann durch innere Differenzirung oder durch Anlagerung von aussen, oder auch durch Beides zugleich erklärt werden, und jeder dieser Typen gestattet wieder mancherlei Modificationen. Der Beobachter kann daher stets nur durch genauere Untersuchung ermitteln, in welcher Weise die Vermehrung der Schichten in einem gegebenen Falle stattfinde. Als Richtschnur können hiebei die folgenden Regeln dienen.

1) Wenn wir in Geweben, deren Zellen alle nur wünschbaren Uebergänge der Verdickung und Schichtenbildung zeigen, keine Membranen beobachten, welche vom Lumen der Zelle durch eine

weiche Schicht abgegrenzt sind, wenn wir vielmehr die Wahrnehmung machen, dass die an den Primordialschlauch grenzende Schicht durchgehends eine dichte ist, so genügt diese Thatsache, um die Annahme auszuschliessen, dass sich abwechselnd dichte und weiche Schichten auf die Innenfläche der Membran ablagern; denn wäre diess der Fall, so müsste man nothwendig auch Stadien finden, in welchen eine weiche Schicht an der Oberfläche läge. — Dasselbe gilt natürlich auch für die Stärkekörner. Das constante Nichtvorhandensein einer weichen oberflächlichen Schicht liefert hier den Beweis, dass die Schichtenbildung nicht auf der Ablagerung neuer Substanz auf der schon vorhandenen beruhen kann.

2) Wenn in einer homogenen Scheidewand zwischen zwei Zellen eine mittlere heterogene Schicht auftritt (Intercellularsubstanz, primäre Membran), so kann das in gleicher Weise, wie die Vermehrung der Schichten, nur durch innere Differenzirung geschehen. Bei der Bildung einer ähnlichen heterogenen Schicht an der Oberfläche einer Membran (Extracellularsubstanz, Cuticula) ist sowohl die Annahme einer Ausscheidung als die einer Differenzirung möglich. Man hat alsdann nach weiteren Anhaltspunkten zu suchen, um diese beiden denkbaren Fälle gegen einander abzuwägen.

Eine sichere Beantwortung der Frage, ob Ausscheidung oder Differenzirung, ist übrigens in manchen Fällen gar nicht möglich. Namentlich sind die Belege, welche für den Nachweis einer Schichtenbildung durch Ausscheidung nothwendig sind, nur äusserst selten zu finden. Eine Ausscheidung ist mit Sicherheit nur da anzunehmen, wo die Identität der innern Membranschicht, aus welcher das Ausscheidungsproduct hervorgegangen sein müsste, mit der ursprünglichen ganzen Membran der Zelle sich strenge nachweisen lässt. Diess setzt aber eine charakteristische Zeichnung der Membranfläche, wie z. B. bei den Diatomeen, einen besonders günstigen Schichtenverlauf oder irgend ein ähnliches Merkmal voraus, welches die ursprüngliche Aussenfläche oder doch die peripherische Schicht der Membran kennzeichnet. Man wird in der Praxis jedenfalls häufiger die Anhaltspunkte finden, welche mit Sicherheit auf eine innere Differenzirung schliessen lassen. — Als Ausscheidungsproduct ist beispielsweise die Extracellularsubstanz der Diatomeen, Desmidiaceen und Zygnemaceen zu betrachten; die Cuticula der höhern Gewächse entsteht dagegen in vielen Fällen unzweifelhaft durch Differenzirung.

3) In manchen Fällen geht schon aus der Anordnung der Schichtencomplexe und namentlich aus der Vergleichung jüngerer

Zustände mit ältereren ganz sicher hervor, dass die Vermehrung der Schichten auf der Spaltung schon vorhandener, nicht auf der Anlagerung neuer Substanz auf der Oberfläche, beruht. Diess ist z. B. bei zusammengesetzten Stärkekörnern der Fall, deren Kerne in jugendlichen Stadien nahezu in der Mitte der zugehörigen Schichten liegen, während sie im ausgewachsenen Korn viel weiter von der Trennungslinie zwischen den Theilkörnern, als von der freien Aussenfläche ihrer Schichtencomplexe abstehen (Fig. 218 *A*). Die Apposition müsste offenbar eine Anordnung der Schichten wie in Fig. 218 *B* zur Folge haben. — Ebenso ist auch der Schichtenverlauf in Fig. 219 *A*, welche einen Durchschnitt durch die Membran von Caulerpa prolifera an der Ansatzstelle einer Cellulosefaser darstellt, mit der Annahme einer Auflagerung unvereinbar; die letztere würde, da der jugendliche Zustand die Verhältnisse von Fig. 219 *C* zeigt (die Faser als einfache Linie), einen Verlauf der Schichten bedingen, wie er in Fig. 219 *B* abgebildet ist.

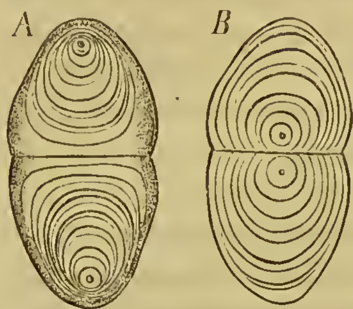


Fig. 218.

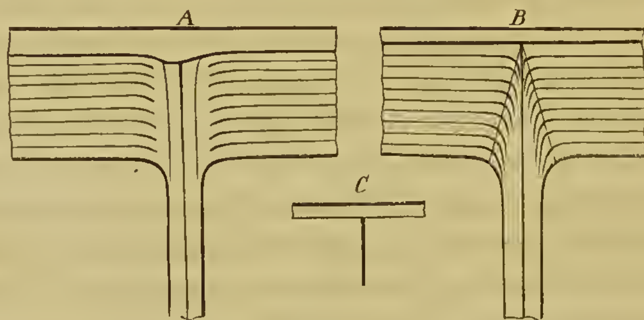


Fig. 219.

4) Es kann ferner vorkommen, dass eine Schichtung erst in spätern Entwicklungsstadien, nachdem die Körner bereits eine ansehnliche Grösse und die Membranen eine beträchtliche Dicke erreicht haben, allmählich hervortritt. Solche Fälle, welche unverkennbar auf Wachsthumsvorgänge im Innern hindeuten, sprechen ebenfalls ganz entschieden gegen die Annahme einer Auflagerung von Schichten an der Oberfläche. — Ueberhaupt können Veränderungen, von denen nachgewiesen werden kann, dass sie im Innern geschichteter Gebilde stattgefunden haben müssen, nur durch Intussusception erklärt werden.

In zweiter Linie sind die mikrochemischen Reactionen, welche das zu untersuchende Object in jüngern und ältern Stadien zeigt, in Betracht zu ziehen. Bei den Stärkekörnern wird man z. B. die Wahrnehmung machen, dass eine peripherische Substanzlage von geringer Dicke in jungen wie in ältern Körnern die grösste Widerstandsfähigkeit gegen Lösungsmittel besitzt und in Folge dessen als membranähnliche Hülle zurückbleibt, nachdem das Innere des Korns bereits gelöst ist. Die innern Schichten grosser Körner sind stets weit löslicher und weicher als die peripherischen Schichten kleiner Körner. Daraus folgt aber, dass der innere Theil eines grossen Korns keineswegs identisch ist mit dem unveränderten jüngern Korn, dass folglich die Annahme einer Volumenzunahme des letztern durch blosse Auflagerung von Schichten den Thatsachen nicht genügt. — Aehnliche Anhaltspunkte, welche auf chemische Veränderungen im Innern der Substanz hindeuten, bieten auch die Membranen vielfach dar, und es ist immer genau zu erwägen, welche Schlüsse sich aus den beobachteten Reactionen ziehen lassen. 501

Die Modificationen betreffend, welche im Falle einer Schichtenbildung durch Intussusception noch denkbar sind, so beschränken wir uns hierüber auf folgende Sätze. 502

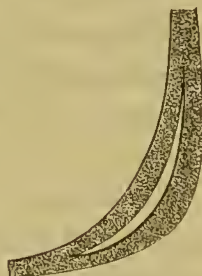


Fig. 220.

1) Wenn die dichten Schichten sich stellenweise so aneinander anschliessen, dass die weicheren sich zwischen denselben auskeilen (Fig. 220), so beruht die Vermehrung der Schichten auf der Bildung weicher Substanz im Innern der dichten und der dadurch bewirkten Spaltung der dichten Schichten in je zwei Lamellen. Kommt der entgegengesetzte Fall auch vor, so deutet diess auf Bildung dichterer Substanz innerhalb der weichen, also auf Spaltung der wasserreichen Schichten.

2) Ein Schichtenverlauf wie der in nebenstehender Fig. 221 beweist, dass die Bildung der Schichten und damit auch das Dickenwachsthum im mittleren Theil der Membran am lebhaftesten vor sich geht. Wie der Verlauf sich gestalten müsste, wenn das vorwiegende Wachsthum in den äussersten oder innersten Schichten stattfände, ist hieraus leicht zu entnehmen.



Fig. 221.

3) Wenn geschichtete Gebilde in

jüngern und ältern Stadien aus zwei oder mehreren deutlich von einander abgegrenzten Complexen bestehen, so ergiebt sich das relative Maass des Dickenwachsthums für jeden derselben und auf jeder Normale zum Schichtenverlauf unmittelbar aus der Vergleichung der Dimensionsverhältnisse auf verschiedenen Entwicklungsstufen. Die in Fig. 222 und 223 dargestellten Beispiele mögen diess veranschaulichen.

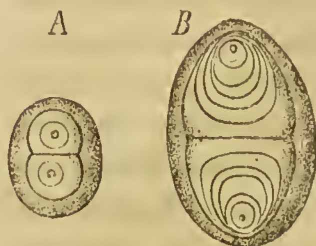


Fig. 222.

In Fig. 222 ist ein halb zusammengesetztes Stärkekorn aus der Kartoffel im jugendlichen Zustand *A* und im weiter entwickelten *B* abgebildet. Ein Blick auf die beiden Entwicklungsstadien genügt, um sich zu überzeugen, dass das Dickenwachsthum des Korns fast ausschliesslich auf der Vergrösserung der Theilkörner beruht, indem die peripherische Hülle so gut wie keine Dickenzunahme zeigt. Die excentrische Lage der Schichtencentren beweist überdiess das vorwiegende Wachsthum in der Richtung der Verbindungslinie.

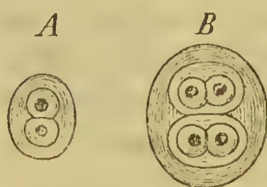


Fig. 223.

Dagegen spricht sich in Fig. 223, welche zwei analoge Entwicklungsstadien (*A* und *B*) einer Gloeocapsa-Colonie darstellt, auch in den peripherischen Schichtencomplexen eine merkliche Dickenzunahme aus.

503 Analoge Verschiedenheiten, wie die Vermehrung der Schichten und das Dickenwachsthum im Allgemeinen, bietet auch das Flächenwachsthum der Membranen oder bestimmter Schichtencomplexe. Das absolute Maass der Flächenzunahme ist selbstverständlich auch hier durch die Grössenverhältnisse im jugendlichen und im ausgewachsenen Zustande gegeben; die Bestimmung desselben ist demnach Sache der Messung und Rechnung und bedarf als solche keiner Erörterung. Schwieriger ist es, die relativen Wachsthumsintensitäten für die verschiedenen Zonen oder Elemente der Fläche zu ermitteln. Es setzt diess immer, wie man leicht einsieht, eine bestimmte Zeichnung der Membran, oder irgend eine Abgrenzung verschiedener Flächentheile durch die Natur der Umgebung, überhaupt das Vorhandensein fixer Puncte auf der Membranfläche voraus, deren Distanzveränderungen in Folge des Wachsthums bestimmbar sind.

Solche fixen Punkte bieten z. B. die faserförmigen Verdickungen der Spiral- und Ringgefässe, die Zeichnung der Diatomeen, ferner die Ansatzstellen der Scheidewände in Geweben, der seitlichen Verzweigungen bei Zellfäden und Zellflächen, der Cellulosefasern bei Caulerpa prolifera u. s. w. Die Erörterung einiger speciellen Fälle wird am besten zeigen, wie sich die gebotenen Anhaltspunkte verwerthen lassen.

1) Die faserförmigen Verdickungen der Spiral- und Ringgefässe liegen unmittelbar nach ihrem Auftreten ziemlich dicht und in gleichmässiger Entfernung nebeneinander, werden jedoch durch die später erfolgende Streckung der Gewebe oft weit auseinander gerückt. Es giebt Gefässe bei denen die Abstände zwischen den successiven Windungen oder Ringen auch im ausgewachsenen Zustande nahezu gleich sind, wo daher das Längenwachsthum der Gefässmembran ein ziemlich gleichmässiges sein muss. Bei andern dagegen kommen periodische Ungleichheiten vor, oder es verändert sich das Wachsthum von dem einen Ende nach dem andern hin.

2) Man beobachtet nicht selten, dass Scheidewände, Ausstülpungen, Verzweigungen u. dgl., welche in jungen Geweben eine bestimmte Lage zur Zelle einnehmen, indem sie z. B. der Mitte einer Wandfläche entsprechen, in ältern Stadien mehr oder weniger seitlich verschoben erscheinen. Diess deutet offenbar auf ein einseitig vorwiegendes Wachsthum der Membran. Bei *Callithamnion* rücken z. B. die Verzweigungen der Gliederzellen mit der Verlängerung der letztern weiter nach oben, d. h. der untere Theil der Gliederzellen zeigt ein stärkeres Wachsthum als der obere.

3) Die Cellulosefasern von *Caulerpa prolifera*, welche bekanntlich quer oder etwas schief durch das Lumen der Zelle ausgespannt sind, bilden in der Scheitelregion dieser einzelligen Pflanze ein feines, dichtes Geflecht. Ihre Ansatzpunkte liegen auf der Membranfläche so dicht neben einander, dass die letztere in der Flächenansicht bei mässiger Vergrösserung fein punktirt erscheint. Mit der Entfernung vom Scheitel rücken dieselben allmählich weiter auseinander. Die Vergleichung der gegenseitigen mittleren Abstände muss folglich herausstellen, in welchem Grade und bis zu welcher Entfernung von der Spitze die Membran in die Fläche wächst.

4) Besonders interessant sind die Wachsthumsverhältnisse bei den Diatomeen. Wir wählen als Beispiel *Rhabdonema adriaticum* (Fig. 224). Die ausgewachsene Zelle (unsere Figur giebt die Flächenansicht von zwei noch nicht ausgewachsenen Zellen) besteht aus zwei nahezu gleichen, übereinstimmend gezeichneten Hälften,

welche durch eine streifenlose mittlere Zone (*mm*) von einander getrennt sind. Die starken Querstreifen, welche nahezu geradlinig von einem Rand bis zum andern verlaufen, sind faserförmige Verdickungen der Membran, welche in der schmalen Profilansicht tief in das Lumen der Zelle hineinragen; die feinern Längsstreifen (in der Figur nur in der einen Zelle dargestellt) sind ähnliche, aber entsprechend schwächere Vorsprünge. Zwischen den durchgehenden Querstreifen, deren Randpartieen merklich stärker hervortreten, befinden sich zu beiden Seiten der Mittellinie noch kürzere, etwas gebogene Streifen, deren zugekehrte Enden knotenförmig verdickt und nach einwärts an die benachbarten Querstreifen angelehnt sind. Diese knotenförmigen Anschwellungen bilden in jeder Zellenhälfte zwei symmetrische Reihen, welche gegen die Medianzone zu schwach divergiren. Die weitern Eigenthümlichkeiten des Baues dürfen hier, als zum Verständniss des Folgenden nicht nothwendig, übergangen werden.

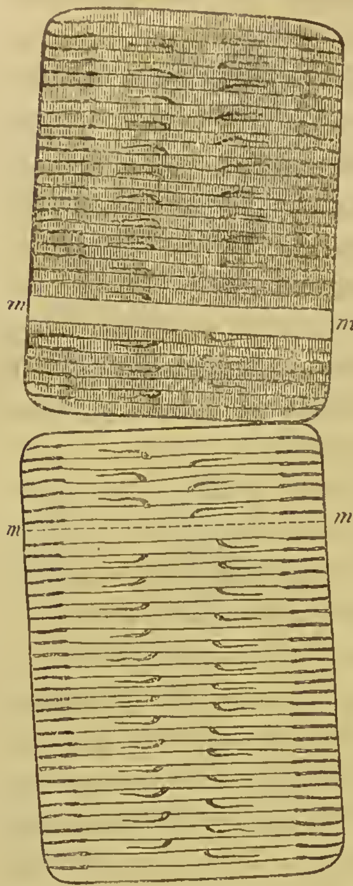


Fig. 224. (500)

Bei der Durchmusterung einer grössern Zahl von Individuen begegnet man nun hin und wieder solchen, welche aus zwei ungleichen Hälften bestehen und auf der Seite der kleineren Hälfte, zunächst der homogenen Medianzone, einen weit schwächern, oft undeutlichen Querstreifen besitzen, den man leicht als einen neu hinzugekommenen und noch unausgebildeten erkennt (die punktirte Linie in der unteren Zelle der Figur). Man trifft solche Streifen in den verschiedensten Stadien der Ausbildung, aber immer nur auf der kleinern Hälfte und am Rande der Medianzone, nie zwischen bereits entwickelten Streifen. Daraus folgt ohne Weiteres, dass nur die kleinere Zellenhälfte im Wachsthum begriffen ist und dass sie ihren hauptsächlichsten Zuwachs von der Medianzone aus erhält, auf welche die Anlage neuer Streifen beschränkt ist. Da ferner die neu angelegten Streifen durchschnittlich ungefähr gleich weit vom vorhergehenden abstehen, wie die ältern Streifen unter sich, so ergiebt sich hieraus, dass das Flächenwachsthum der Membran mit dem Auf-

treten der streifenförmigen Verdickungen so gut wie abgeschlossen ist.

Dass die Streifenbildung ausschliesslich auf die Medianzone beschränkt ist, folgt übrigens schon aus dem Verhalten der divergirenden Knotenreihen zu beiden Seiten der Mittellinie. Der Abstand derselben zunächst der Medianzone ist nämlich bei Exemplaren mit nahezu gleichen Hälften beiderseits gleich, bei solchen mit ungleichen Hälften dagegen in der kleineren Hälfte merklich geringer, und zwar um so mehr, je grösser die Ungleichheit der Hälften. Zeigt die kleinere Hälfte erst einen oder zwei Streifen, so haben hier die Knoten denselben Abstand, wie auf der gegenüberliegenden, der Medianzone abgekehrten Seite der grössern Hälfte. Diese Thatsachen sind nur erklärlich, wenn die Anlage der Streifen in der Medianzone erfolgt und der Abstand der Knoten in jedem folgenden Streifen etwas grösser ausfällt als im vorhergehenden.

Wie bei Rhabdonema, so findet man auch bei den übrigen Diatomeen eine homogene Grenzzone zwischen den beiden Hälften der Zelle, und es lässt sich in vielen Fällen in ähnlicher Weise zeigen, dass das Wachsthum der Membran auf diese verhältnissmässig schmale Zone beschränkt ist. Auch ist es immer nur die kleinere Hälfte, welche von hier aus einen Zuwachs erhält; dieselbe nimmt in Folge dessen so lange an Grösse zu, bis sie der andern Hälfte ungefähr gleich ist, dann entsteht in der Mitte der Grenzzone eine Scheidewand, welche die Zelle in zwei Tochterzellen theilt, von denen in der Folge jede auf der der Scheidewand zugekehrten Seite eine neue Hälfte bildet.

5) Schliesslich mag hier noch die eigenthümliche Membranbildung der *Oedogonien* Erwähnung finden. Bei diesen Algen geht jeder Theilung der Gliederzellen die Bildung eines gallertartigen Ringes voraus, den man in einzelnen Fällen bestimmt als zusammengesetzt aus mehreren deutlich von einander getrennten Cellulosepolstern erkennt. Ein solcher Polsterkranz ist in Fig. 225, welche eine keimende Spore von Oedogonium capillare darstellt, in der Seitenansicht (*A* und *B*) und in der Querschnittsansicht (*C*) abgebildet.*)

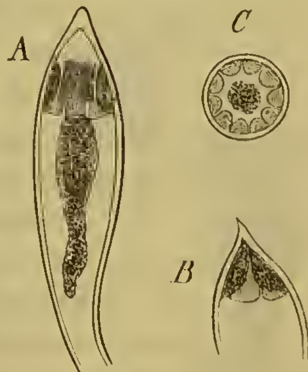


Fig. 225. (400)

*) Die Präparate wurden mit Iod und Zuckerlösung behandelt. Die Cellulosepolster färben sich hiebei violett bis rothviolett, indess die äussere Membran farblos bleibt. Der Inhalt ist stark contrahirt.

Die Zahl der Polster ist übrigens verschieden; zuweilen sind es nur 4—5, in anderen Fällen 8—10. Auch die Form derselben und die bald etwas höhere, bald etwas tiefere Stellung in der Zelle bietet mancherlei Abweichungen. Dass sie aus weicher, dehnbarer Cellulose bestehen, folgt aus ihrem weiteren Verhalten. Die Membran der Mutterzelle wird nämlich in einem etwas spätern Entwicklungsstadium an der Aussenseite der Polster wie durch einen ringförmigen Einschnitt in ein oberes und unteres Stück getheilt, und nachdem diess geschehen, dehnt sich der Polsterkranz zu einer zarten Haut aus, welche die Ränder der beiden getrennten Membranstücke, die dadurch auseinander gerückt werden, mit einander verbindet (s. Fig. 226). Der gallertartige Ring oder Polsterkranz ist also gewissermaassen als eine Ansammlung von Bildungsmaterial zu betrachten, welches in einem spätern Entwicklungsstadium der Zelle zum raschen Aufbau einer neuen Membran verwendet wird.

504 Ist das Wachsthumsvermögen der verschiedenen Schichtencomplexe ungleich, so kann es vorkommen, dass die Schichten, welche zu wachsen aufgehört haben, durch die weitere Ausdehnung der übrigen Schichten zerrissen werden. Bei den Membranen tritt dieser Gegensatz hin und wieder zwischen den innern und äussern Schichten und zwar in der Art hervor, dass eine periphersiche Lamelle der Membran von Zeit zu Zeit in gesetzmässiger Weise durchbrochen oder wie durch einen kreisförmigen Einschnitt in zwei gleiche oder ungleiche Stücke getheilt wird, welche sodann in Folge der fortdauernden Streckung der Zelle allmählich weiter auseinander rücken. Die Modalitäten dieses Vorganges bieten natürlich mancherlei Verschiedenheiten, und es bedarf oft eines genauen Studiums der Entwicklungsgeschichte, um dieselben festzustellen. In der Hauptsache ist jedoch das Verhalten der Membran schon durch die anatomischen Verhältnisse des fertigen Zustandes meist deutlich ausgesprochen.


Fig. 226. (400)

Ein bekannter hierher gehöriger Fall ist die Bildung der sogenannten Kappen und Scheiden bei den *Oedogoniaceen.* Die Theilung der Zellen wird hier, wie bereits oben erwähnt, durch Bildung eines weichen, oft weit nach innen vorspringenden Celluloseringes im obern Theil der Zelle eingeleitet; dann reisst an dieser Stelle die äussere Membran, der Ring dehnt sich in die Länge und erscheint jetzt als zarte

Haut, welche sich ober- und unterseits an den Rand der äussern Lamelle ansetzt. In diesem letztern Stadium ist in Fig. 226 eine keimende Spore von *Oedogonium capillare* dargestellt; etwas später bildet sich die Scheidewand. — Der nämliche Vorgang wiederholt sich beim Aufbau des Zellfadens mit jeder Theilung der Zellen; es entstehen dadurch jene Systeme von in einander geschachtelten Kappen und Scheiden, wie sie in Fig. 227 für ein aus einer ursprünglichen Gliederzelle hervorgegangenes Fadenstück dargestellt sind.

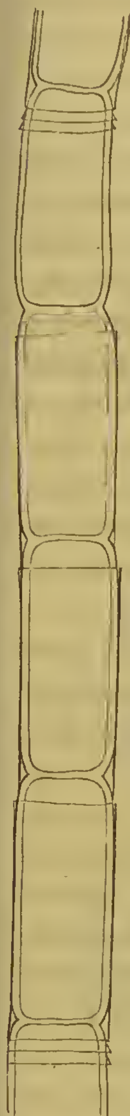


Fig. 227.

Weitere Beispiele für das wiederholte Zerreissen einer peripherischen Schicht liefert die noch wenig bekannte Entwicklungsgeschichte der Scheiden bei den *Rivularieen* und *Scytonemeen*. Hier wird, wie es scheint, eine peripherische Lamelle der Membranen, welche sich immer wieder neu bildet, von der fortwachsenden Spitze des Fadens in regelmässigen Intervallen durchbrochen, wächst dann aber nicht selten noch längere Zeit in die Dicke und Fläche, in der Art, dass der obere Theil der Lamelle sich in Folge dessen trichterförmig erweitert. Diess ist z. B. bei *Petalonema alatum Berkley* (Fig. 228) der Fall. Die Schichten verlaufen hier zunächst der Scheitelregion (*A*) der Längsaxe nahezu parallel, dagegen mit zunehmender Entfernung von derselben unter immer grösseren Winkeln nach aussen. Der Querschnitt zeigt dabei nach wie vor concentrische Schichtung. Bei ältern Fäden findet man hie und da einen Schichtenverlauf, wie er in Fig. 228 *B* dargestellt ist. Die Vergleichung mit *A* ergiebt, da die Vergrösserung dieselbe ist, ohne Weiteres, dass das selbständige Wachsthum der Schichten jedenfalls bis auf sehr bedeutende Entfernungen vom Scheitel fortdauert.

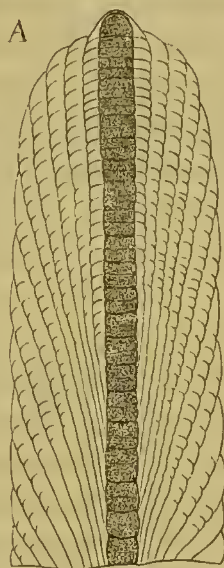




Fig. 228. (250)

Ferner gehört hieher die Bildung der Hüllmembranen bei den grössern *Diatomeen* (Biddulphia, Isthmia, Pyxidicula, Rhabdonema u. a). Es sind auch hier Membranlamellen, welche nach der Theilung der Zellen zu wachsen aufhören und sich über die jungen,

neugebildeten Hälften gürtelförmig hinwegziehen. Zuweilen beobachtet man sogar zwei über einander liegende Hüllen, eine äussere schmälere, welche zuerst, und eine innere breitere, welche später gebildet wurde.

2. Aufbau der Plasmagebilde.

505 Da das Material, welches hier zur Verwendung kommt, halbflüssig ist und in Wasser meist Tropfenform annimmt, so lässt sich erwarten, dass die Plasmagebilde diese halbflüssige*) Consistenz beibehalten. Die Entstehung dieser Gebilde steht übrigens mit dem Ausbau der Zelle im Zusammenhang. Junge Zellen (Sporen, Schwärmzellen etc.), welche nicht bereits einen mehr oder weniger ausgebildeten Inhalt von der Mutterzelle geerbt haben, sind ganz mit Plasma gefüllt; das letztere ist gewissermaassen als blosses Material vorhanden und wird erst durch die späteren Lebensprocesse der Zelle in verschiedener Weise vertheilt, in Streifen und Bänder ausgezogen, zu kugeligen Bläschen oder fadenförmigen Bildungen verarbeitet, mit Farbstoffen durchtränkt u. s. w.

Um den Aufbau der Plasmagebilde zu studiren, ist es daher nothwendig, die allmähliche Differenzirung des Inhaltes in geeigneten jungen Geweben (an keimenden Sporen, in der Scheitelregion lebhaft vegetirender Algen, in Blattanlagen, Stammspitzen u. s. w.) zu beobachten, welche beim Uebergang in Dauergewebe die erwähnten Entwicklungsstadien durchlaufen. Man wird dabei stets die Wahrnehmung machen, dass alle Plasmapartieen, welche während der Ausbildung des Inhaltes isolirt werden, sich an der Oberfläche verdichten und so ein homogenes Häutchen bilden, das in seinen Eigenschaften mit dem Primordialschlauch übereinstimmt. Es ist diess dieselbe Erscheinung, die man auch durch mechanische Zertheilung des Zellinhaltes hervorrufen kann, so dass man annehmen muss, sie bestehe wesentlich in einer physikalischen Veränderung des Plasmas bei der Berührung mit Wasser.**)

---

*) Man darf in dem Ausdruck halbflüssig, auf Plasmagebilde angewendet, nicht etwa einen Widerspruch mit der Annahme einer Organisation erblicken, da derselbe sich einzig und allein auf die Consistenz, nicht auf den innern Bau bezieht. Das halbflüssige Plasma ist allerdings von dem halbflüssigen Gummischleim wesentlich verschieden, da das erstere stets nur eine bestimmte Menge Wasser enthält, die mit seiner Organisation zusammenhängt, indess der letztere beliebig verdünnt werden kann; allein hinsichtlich ihrer Consistenz stimmen beide überein.

**) Siehe hierüber Nägeli, Pflanzenphysiologische Untersuchungen I. p. 9.

Das Vorhandensein eines solchen äusserst dünnen Häutchens bei Chlorophyllkörnern und Zellkernen, obschon bis auf die neueste Zeit vielfach bestritten, lässt sich in manchen Fällen mit Sicherheit nachweisen. Es genügt, dieselben zu isoliren und der Einwirkung des umspülenden Wassers zu überlassen. Sie quellen dabei etwas auf, das Plasma vertheilt sich und in den Zwischenräumen sammelt sich das durch Endosmose eingedrungene Wasser; eine Unterbrechung des peripherischen Häutchens findet aber nicht statt. Chlorophyllkörner und Zellkerne verhalten sich also genau wie membranlose junge Zellen. Die Uebereinstimmung spricht sich auch darin aus, dass das peripherische Häutchen, wie der Primordialschlauch, farblos erscheint, indem das Chlorophyll stets nur das innerhalb desselben liegende Plasma tingirt.

Als besonders günstige Objecte zur Beobachtung dieser Verhält- **506**
nisse sind die Chlorophyllkörner der Nitellen und einiger Monoco-

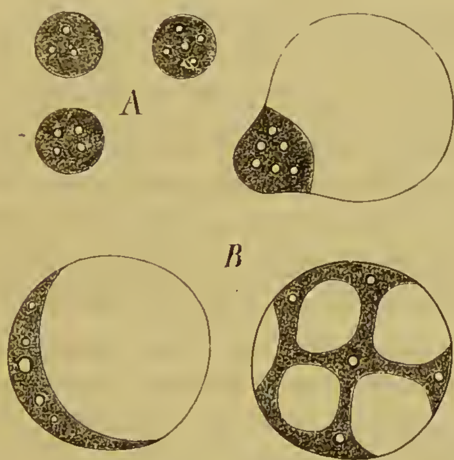


Fig. 229. (1000)

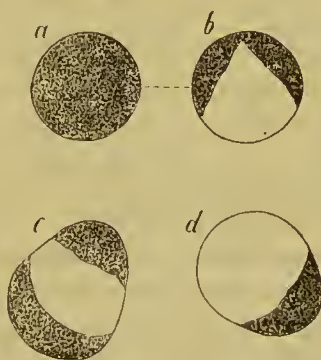


Fig. 230. (1000)

tyledonen, z. B. von *Clivia* und *Aspidistra*, zu empfehlen. Die Quellungserscheinungen, welche die Einwirkung von Wasser hervorruft, lassen sich hier sowohl auf Durchschnitten, namentlich durch jugendliche Organe, als an isolirten Körnern bei 4—500maliger Vergrösserung leicht verfolgen. Die Existenz eines peripherischen Häutchens ist allerdings nur in besonders günstigen Fällen direct zu beobachten, da es nur selten doppelt contourirt erscheint, dieselbe kann jedoch aus der Anordnung der gefärbten und ungefärbten Inhaltspartieen mit Nothwendigkeit oder doch mit grösster Wahrscheinlichkeit gefolgert werden. Bei Clivia nobilis, wie bei Nitella, sieht

man z. B. häufig Körner, bei denen das grüne Plasma nach der Quellung die in Fig. 229 *B* und Fig. 230 dargestellte Lagerung zeigt. Die Körner Fig. 229 sind aus *Nitella syncarpa*, sie enthalten mehrere kleine Stärkekörner; *A* ist der unveränderte, *B* der veränderte Zustand. Fig. 230 stellt die aufgequollenen Körner von *Clivia nobilis* dar und zwar *a* und *b* das nämliche Korn in zwei verschiedenen Ansichten, *c* und *d* zwei andere Körner.*)

507 Von der halbflüssigen Beschaffenheit der Plasmagebilde sammt ihrer membranartigen Umhüllung überzeugt man sich, indem man mehrere derselben mit einander in Berührung bringt und etwas quetscht, was z. B. mit Chlorophyllkörnern, wenn sie als Wandbeleg auftreten, nach dem Ablösen des Primordialschlauches durch Glycerin sich hie und da leicht bewerkstelligen lässt. Sie fliessen alsdann zu Plasmakugeln zusammen, die sich wie ein einfaches Korn verhalten. Ebenso liefert die Thatsache, dass das Plama beim Freiwerden der Schwärmsporen zuweilen in lange Fäden ausgezogen wird,**) welche nach dem Zerreissen in die nun getrennten grössern

---

*) Mohl, welcher diese Erscheinungen ebenfalls beobachtete (s. Bot. Ztg. 1855), erklärt dieselben, im Widerspruch mit obiger Darstellung, durch starkes Aufquellen einer im Innern des Korns befindlichen farblosen oder schwach gefärbten Substanz, in welcher sich durch Wasseraufnahme zuerst zahlreiche Vacuolen bilden, die sich endlich zu grösseren Blasen vereinigen und hierauf angeblich durch die umgebende Hülle nach aussen hervorbrechen, wobei die letztere an der Aussenfläche der Blasen hängen bleiben und dieselbe mützenartig bedecken soll.

Hiegegen ist erstlich einzuwenden, dass die Annahme einer quellungsfähigen Substanz, von der man an den unveränderten Chlorophyllkörnern nichts bemerkt, doch allzu hypothetisch ist, und dass überhaupt bis jetzt keine Substanz bekannt sein dürfte, welche in reinem Wasser aufquillt, dagegen in der neutralen oder schwachsauren Zellflüssigkeit nicht aufquillt. Die Annahme dagegen, dass die Chlorophyllkörner und Zellkerne in Wasser eine vermehrte Endosmose zeigen, ist in Uebereinstimmung mit dem Verhalten der ganzen Zelle.

Zweitens ist hervorzuheben, dass wenn auch die Mehrzahl der Fälle vielleicht die Mohl'sche Erklärung ebensowohl zulässt als die unsrige, doch einzelne sie ausschliessen. Dazu gehören namentlich diejenigen, wo das Häutchen der durch Wasser veränderten Chlorophyllkörner einen doppelten Contour zeigt und das grüne Plasma deutlich umzieht.

Drittens ist noch zu bemerken, dass der Primordialschlauch in Zellen, die mit Plasma gefüllt sind, eben so wenig direct zu beobachten ist, und dass solche Zellen, wenn sie keine Membran besitzen und in Wasser kommen, die gleichen Veränderungen zeigen wie die Chlorphyllkörner und Zellkerne.

**) Man vgl. z. B. die Darstellung der Schwärmsporenbildung bei *Stigeoclonium insigne Näg.* in den »Pflanzenphysiol. Untersuchungen« I. pag. 36 und Taf. 1.

Plasmamassen zurückfliessen, ohne hier irgend eine Erhabenheit zu verursachen, zugleich einen Beweis für die hohe Dehnbarkeit, wie für die Halbflüssigkeit der Plasmasubstanz.

Zu den bläschenförmigen Plasmabildungen gehören ferner die *Spermatozoen*. Das Studium ihrer Entwicklung aus dem Plasma der Mutterzelle macht im Allgemeinen keine besonderen Manipulationen nöthig; dagegen hält es schwer, über Zahl und Form der Wimpern ohne Anwendung von Reagentien ins Klare zu kommen. Auch im Zustand der Ruhe treten sie erst deutlich hervor, wenn sie durch Iodlösung gefärbt werden. Da letztere die Spermatozoen tödtet, so wird sie am besten so zugesetzt, dass sie dieselben durch Diffusion in allmählich steigender Concentration erreicht und dadurch eine langsame Vergiftung bewirkt. Man kann alsdann, während die Bewegung allmählich aufhört, zugleich die Natur dieser letzteren und unter Umständen auch den Ruderschlag der Wimpern studiren. 508

Endlich gehören hieher auch die krystallähnlichen Plasmagebilde oder die *Proteinkrystalloide*. Die Entwicklung derselben und die allmähliche Ausbildung der Krystallform kann in den Hauptpunkten durch Vergleichung jüngerer und älterer Zustände leicht ermittelt werden. Junge Krystalle sind immer rundlich, etwas später kommen die Ecken zum Vorschein, zuletzt findet die Ebenung der Krystallflächen statt. Ueber die Art des Wachsthums geben, wie bei den Stärkekörnern und Membranen, die hie und da deutlich hervortretenden Schichten, die Trennungsspalten bei Doppelkrystallen etc., sowie ferner das Verhalten gegen chemische Reagentien Aufschluss. In letzterer Hinsicht ist namentlich zu beachten, dass die innern Partieen der Krystalloide, ähnlich wie bei den Stärkekörnern, stets quellungsfähiger und löslicher sind als die äussern, so dass nach vollständiger Auflösung der innern Substanz eine membranähnliche peripherische Hülle zurückbleibt. Alles das deutet darauf hin, dass das Wachsthum auch hier auf Intussusception, nicht auf Apposition beruht. 509

Wie aus dem Gesagten hervorgeht, ist die Methode, die man bei entwicklungsgeschichtlichen Untersuchungen über Plasmagebilde zu befolgen hat, im Grunde genommen dieselbe, die sich überhaupt bei allen Untersuchungen dieser Art als selbstverständlich empfiehlt. Es handelt sich zunächst immer darum, Objecte zu wählen, in wel- 510

chen die zu untersuchenden Processe stattfinden, und sodann um eine genaue Vergleichung der verschiedenen Entwicklungsstadien. Ein Punkt verdient jedoch nachträglich noch besonders hervorgehoben zu werden. Es kann der Fall eintreten, dass sich in Betreff der Identität eines bestimmten Gebildes auf den verschiedenen Stufen der Differenzirung Zweifel aufdrängen. Wenn z. B., wie es bei der freien Zellbildung öfter vorkommt, sich im Inhalt der jungen Zelle zuerst kleine homogene Kügelchen ausscheiden, wenn hierauf in einem spätern Entwicklungsstadium grössere Kügelchen mit je einem kleinern als Einschluss und in einem dritten Stadium bereits fertige Zellen mit Nucleus und Nucleolus vorhanden sind, so ist oft schwer zu ermitteln, welche Theile der spätern Zustände mit den zuerst gebildeten Kügelchen identisch seien. Es sind hier a priori folgende Fälle denkbar.

1) Die primären Kügelchen entsprechen den eingeschlossenen Kügelchen im zweiten und den Nucleoli im dritten Stadium. Es würde hienach zuerst der Nucleolus, dann durch Auflagerung der Kern, endlich der übrige Inhalt der Zelle entstehen.

2) Die primären Kügelchen entsprechen im zweiten Stadium den grössern Kugeln und im dritten dem Zellkern. Hienach würde zuerst der Zellkern, dann in diesem durch Differenzirung das Kernchen, endlich durch Auflagerung der übrige Theil des Inhalts sich bilden.

3) Die primären Kügelchen entsprechen der ganzen Zelle; Kern und Kernchen entstehen im Innern derselben durch Differenzirung.

Gegenüber solchen Alternativen, denen man hin und wieder begegnet, ist es vor Allem geboten, die Grössenverhältnisse der verschiedenen Theile in den jüngern und ältern Stadien genau zu berücksichtigen. Wenn z. B., um auf die eben erwähnte freie Zellbildung zurückzukommen, die Nucleoli der fertigen Zelle oder die Einschlüsse des zweiten Stadiums durchgehends kleiner sind, als die primären Kügelchen, so ist auf keinen Fall daran zu denken, dass die letzteren mit den erstern identisch seien. Besteht dagegen diese Ungleichheit in den drei Stadien, die wir als bekannt voraussetzen, nicht, so können nur die Uebergangszustände zwischen denselben weitere Aufschlüsse geben. Nehmen z. B. die primären Kügelchen, vom ersten Stadium an gerechnet, noch bedeutend an Volumen zu, bevor ein äusserer und ein innerer Contour, wie im zweiten Stadium, bemerkbar wird, so kann der peripherische Theil dieses zweiten Stadiums offenbar nicht durch Auflagerung entstanden sein, sondern

muss als Product einer innern Differenzirung betrachtet werden. In gleicher Weise sind auch die Uebergänge zwischen dem zweiten und dritten Stadium hinsichtlich ihrer Grössenverhältnisse zu vergleichen, und dasselbe Verfahren muss überhaupt bei allen Untersuchungen dieser Art eingeschlagen werden.

II.

Die Gesetze der Zellentheilung.

Die Gesetze der Zellentheilung lassen sich natürlich nur an sol- 511
chen Zellcomplexen studiren, bei denen die Aufeinanderfolge der Scheidewände sich entweder aus der Lagerung der Zellen oder aus der relativen Dicke der Wandungen oder durch Vergleichung der verschiedenen Entwicklungsstadien mit Sicherheit ableiten lässt. Dass hiebei, wie bei allen Untersuchungen, vor Allem eine praktische Schule nothwendig ist, um jede beobachtete Thatsache richtig deuten und verwerthen zu können, bedarf keiner Erörterung. Ebenso klar ist aber auch, dass in der Praxis nicht bloss die Uebung an und für sich, sondern auch die Methode ins Gewicht fällt, in der man sich übt. Beim Studium der Gewebebildung ist diess erfahrungsgemäss so entschieden der Fall, dass es uns nothwendig erschien, den einschlägigen Untersuchungsmethoden ein vielleicht über Verhältniss ausführliches Capitel zu widmen. Hiezu gab uns überdiess noch die weitere Erfahrung Veranlassung, dass gerade diese Richtung der mikroskopischen Forschung noch lange nicht die Anerkennung erlangt hat, die sie vermöge ihrer Bedeutung für die Wissenschaft verdient. Hört man ja doch heut zu Tage noch einzelne Stimmen, welche das Studium der Zelltheilungen geradezu für eine minutiöse Spielerei erklären, die zu keinem sicheren Ergebniss führen könne, — als ob zu den Bedingungen der Erkenntniss des fertigen Zustandes nicht auch die Art und Weise gehörte, wie er geworden ist.

Wir haben in Folgendem die zu untersuchenden Objecte in Zell- 512
reihen, Zellflächen und Zellkörper eingetheilt, weil der Anfänger sich bei dieser Eintheilung am leichtesten zurecht findet. Der speciellen Betrachtung dieser drei Kategorien wollen wir hier nur einige wenige allgemeine Bemerkungen vorausschicken.

Die Theilungsvorgänge lassen sich immer am besten verfolgen, wenn die Objecte, die man zu untersuchen beabsichtigt, in lebhaftem Wachsthum begriffen sind. Man hat alsdann die grösste Wahrscheinlichkeit für sich, schon unter einer kleineren Zahl von Präparaten solche zu finden, bei denen die letzten Wände sich kurz vorher gebildet haben und daher um so leichter zu erkennen sind. Die glückliche Wahl der Objecte und unter Umständen eine zweckentsprechende Cultur der betreffenden Pflanze, wobei die Zellen etwas grösser oder durchsichtiger werden u. dgl., sind daher bei solchen Untersuchungen von grosser Bedeutung.

Aus der Anordnung der Zellen kann nur dann auf die Entwicklungsfolge der Scheidewände geschlossen werden, wenn die gegenseitige Lage der letztern im Wesentlichen mit der ursprünglichen, wie sie durch die Theilung bedingt ist, übereinstimmt. Diess ist der Fall a) wenn das Wachsthum nach stattgefundener Theilung fast gänzlich aufhört, b) wenn die Theilzellen sich zwar allseitig ausdehnen, dabei aber ihre Gestalt nicht merklich ändern, c) wenn die Theilungsvorgänge so rasch aufeinander folgen, dass die inzwischen eintretenden Formveränderungen relativ klein erscheinen. In allen andern Fällen sind die auf die Gruppirung der Zellen basirten Schlüsse entweder ungerechtfertigt, oder es fehlen überhaupt alle Anhaltspunkte, um irgend welche Schlüsse zu ziehen.

Die Gestaltveränderungen, welche die Zellen in Folge ihres weitern Wachsthums erfahren und wodurch ihre ursprüngliche Anordnung oft total verwischt wird, müssen für sich allein zum Gegenstand der Untersuchung gemacht werden. Welcher Art sind diese Veränderungen? Ist es bloss das Bestreben der Zellen sich abzurunden, welches dieselben hervorruft, wie man diess wohl bei Zellfäden mit tonnenförmigen Gliederzellen und ebenso bei isodiametrisch-parenchymatischen Geweben höherer und niederer Gewächse annehmen kann? Oder liegt denselben die ausgesprochene Neigung der Zellen zu Grunde, eine bestimmte Form anzunehmen, wie z. B. bei den sternförmigen Verzweigungen derselben, bei der Streckung in einer bestimmten Richtung, bei der Bildung von Ausbuchtungen an einzelnen Zellen u. s. w. Auch die Drehungen der Zellen oder ganzer Organe, sowie das ungleichmässige Wachsthum ursprünglich gleicher Zellen oder Zellcomplexe, wodurch Veränderungen der Stellung seitlicher Organe bewirkt werden, gehören hieher.

Der Aufbau der Gewebe ist überhaupt erst dann als erledigt zu betrachten, wenn ausser der Entwicklungsfolge der Scheidewände

auch alle Formveränderungen bekannt sind, welche die Zellen im Verlaufe des weitern Wachsthums erfahren.

1. Zellreihen.

Eine einfache Zellreihe ist unter dem Mikroskop leicht daran zu erkennen, dass sie nur quer zur Längenausdehnung gestellte Scheidewände, aber selbst beim Drehen um ihre Axe keine Längswände zeigt. Die Fragen, welche bei einem solchen Zellfaden in Betreff der Wachsthumsvorgänge zu beantworten sind, können sich demgemäss, da von Richtungsverschiedenheiten nicht die Rede sein kann, nur auf die Unterschiede beziehen, welche zwischen den successiven Zellen der Reihe hinsichtlich ihres Theilungsvermögens denkbar sind. 513

Es ist in erster Linie zu untersuchen, ob die Bildung neuer Scheidewände sich in allen Zellen, sowohl bei jüngern als bei ältern Fäden, mit ungefähr gleicher Lebhaftigkeit wiederhole, oder ob gewisse Zellen früher, andere später sich zu theilen aufhören. Die Kennzeichen, welche hierüber Aufschluss geben, sind je nach der Natur der Pflanze verschieden; bald sind es die Einkerbungen am Rande oder die ungleiche Dicke der Scheidewände, bald die relativen Längen der Zellen, bald die Schichten der Wandung, bald auch das mehr oder minder jugendliche Aussehen der Membran — alles Verhältnisse, welche der Anfänger, wenn er darauf achtet, leicht deuten lernt.

Ist die Theilungsfähigkeit der einzelnen Zellen ungleich; hat man es z. B. mit dem häufig vorkommenden Falle zu thun, dass die Endzellen sich anders verhalten als die Gliederzellen, indem sie entweder fortwährend, so lange das Organ wächst, oder doch bis zu einem gewissen Stadium der Entwicklung, sich augenscheinlich vorwiegend am Aufbau betheiligen (Scheitelwachsthum), so stellt sich dem Beobachter die weitere Aufgabe, die vorkommenden Verschiedenheiten genau zu präcisiren. Beruht vielleicht der ganze Unterschied darauf, dass gewisse Glieder der Reihe sich nicht mehr theilen, indess die übrigen sich unbegrenzt zu theilen fortfahren, wie z. B. bei den Nostocheen und den Gonidienketten der Collemeen? Oder handelt es sich zunächst um den Gegensatz zwischen Endzellen und Gliederzellen, und wenn diess der Fall, sind diese letztern überhaupt theilungsfähig oder nicht? Verhalten sich die Gliederzellen, wenn sie theilungsfähig sind, unter sich gleich, oder theilen sich die einen häufiger als die anderen? Ist die Zahl der Theilungen eine bestimmte oder unbestimmte, vielleicht 1, 2, 3 oder darüber? Wie stark ist das

Längen- und Dickenwachsthum der ursprünglichen Gliederzellen, vom Zeitpunkte an gerechnet, wo sie von der Scheitelzelle abgeschnitten werden, bis sie aufhören zu wachsen? Das sind die Fragen, die sich hier aufdrängen und die auch bei der Untersuchung körperlicher Gebilde, so oft es sich um die Entwicklung von Zellreihen (im Cambium, Periderm, in der Rinde etc.) handelt, immer wiederkehren. Sie sind in manchen Fällen sehr leicht, in andern etwas schwieriger zu beantworten; oft bleiben auch einzelne Punkte zweifelhaft. Das Verfahren, das man bei der Untersuchung zu beobachten hat, mag am besten an einigen Beispielen erläutert werden.



Fig. 231.



Fig. 232.



Fig. 233.

In Fig. 231 beobachtet man schon an den jüngsten Gliederzellen Andeutungen der Verästlung. Die Aeste werden nach unten von Glied zu Glied grösser und die Gliederzellen selbst etwas länger und dicker, ohne dass neue Scheidewände zwischen den Aesten gebildet würden. Hier findet also keine Theilung der Gliederzellen des Stammes statt. Dasselbe Gesetz gilt auch, wie sich aus der stetigen Längenzunahme der Glieder und der eben so stetigen Dickenzunahme der Scheidewände ergiebt, für sämmtliche Aeste. In Fig. 232 (Thallomende von Sphacelaria) ist dagegen das Auftreten neuer Scheidewände (*m*) zwischen schon vorhandenen unzweifelhaft;

jede Gliederzelle theilt sich aber nur einmal, wie man aus der späteren Vertheilung der Aeste und der Länge der Zellen ersieht (*Chara, Sphacelaria, Cladostephus*). Eine öftere Theilung hat dagegen in Fig. 233, die eine ursprüngliche Gliederzelle eines Oedogonium-Fadens darstellt, stattgefunden. Hier entspricht die Zahl der später entstandenen Scheidewände derjenigen der Querstreifen (Kappen) an der obersten Theilzelle, — ein Verhältniss, das natürlich vorerst durch das Studium des Theilungsvorganges selbst festgestellt sein muss.*) Ebenso ist in Fig. 234 die intercalare Theilung der Gliederzellen durch die Einschachtelung der Schichten und die ungleiche Dicke der Wände (im Holzschnitt nicht deutlich genug hervorgehoben) genau bestimmt. Aehnliche Anhaltspunkte bieten sich auch in vielen anderen Fällen, und es gehört mit zur Aufgabe des Beobachters, dieselben zu finden.



Fig. 234.

Gelingt es nicht, den ganzen Aufbau genau zu ermitteln, so ist es doch immer möglich, die allgemeineren Gesetze desselben festzustellen. Für die Flechtenfasern gilt z. B. die Regel, dass die Fasern, welche die Rinde bilden, sich bis auf eine gewisse Entfernung von der Oberfläche zu theilen fortfahren, während im Innern des Thallus bloss Verästlung, aber keine Theilung der Gliederzellen mehr stattfindet. Wie sich die Enden der Aeste verhalten, welche im Marke verlaufen, bleibt noch zu ermitteln; nur soviel ist sicher, dass ihre ältern Gliederzellen sich ebenfalls nicht mehr theilen.

2. Zellflächen.

Mit dem Ausdruck Zellfläche bezeichnen wir einen Zellcomplex, 514
welcher aus einer einzigen Lage von Zellen besteht. Das Erkennen solcher Complexe unter dem Mikroskop bietet keinerlei Schwierigkeiten; bei kleineren Objecten, wie z. B. bei den Täfelchen von Pediastrum, bei einzelnen parenchymatischen Sporen u. dgl. geben hierüber die verschiedenen Ansichten, die man beim Drehen erhält, bei grössern blattähnlichen Gebilden die senkrecht zur Flächendimension geführten Durchschnitte zuverlässige Auskunft.

Die Theilungsvorgänge, welche den Aufbau einer Zellfläche vermitteln, bieten zunächst, ähnlich wie bei den Zellreihen, alle die Verschiedenheiten und Combinationen dar, welche mit Rücksicht

*) Vgl. hierüber pag. 550.

auf das Theilungsvermögen der einzelnen Zellen denkbar sind. Dazu kommen aber noch die Unterschiede bezüglich der Theilungsrichtung, indem die auftretenden Scheidewände in den verschiedenen Regionen der Fläche ungleich gestellt sein können. Es giebt hienach

a) Zellflächen mit unter sich gleichwerthigen Elementen, welche sich sämmtlich in gleicher Weise zu theilen fortfahren, so lange das Organ wächst;

b) solche, in welchen nur die Randzellen unter sich übereinstimmen, indess die den Rand nicht berührenden Flächenzellen sich abweichend verhalten, sei es, dass sie sich gar nicht theilen oder dass sie eine nach Richtung und andern Merkmalen verschiedene Theilungsfähigkeit besitzen;

c) solche, bei welchen zu dem Gegensatz zwischen Rand- und Flächenzellen noch weitere Verschiedenheiten zwischen den Randzellen unter sich oder zwischen den Flächenzellen unter sich hinzukommen.

Ob ein zu untersuchendes Object in die erste, zweite oder dritte Kategorie gehöre, muss hier vorzugsweise aus der Gruppirung der Zellen in Reihen oder in kleinere Complexe und aus dem mehr oder minder jugendlichen Aussehen des Gewebes erschlossen werden, was in manchen Fällen ohne alle Schwierigkeit möglich ist. Oft genügt sogar ein flüchtiger Blick, um eine bestimmte Region als die vorzugsweise bildungsfähige und gewisse Zellen derselben als besonders ausgezeichnete zu erkennen.

Eine grössere Aufmerksamkeit erfordern im Allgemeinen die Theilungsvorgänge selbst. Am leichtesten sind sie natürlich bei kleineren Gruppen zu ermitteln, welche nach stattgefundener Theilung keine Formveränderung erleiden und überdiess in den verschiedensten Entwicklungsstadien zu haben sind. Wie eine mehrzellige Brutknospe oder Spore (Fig. 235) sich aufbaut, lässt sich zuweilen ohne Weiteres aus der gegenseitigen Lage der Scheidewände erkennen; in andern Fällen genügt es, einige jüngere Zustände damit zu vergleichen, um sich über die zweifelhaften Punkte aufzuklären. Das Nämliche gilt hie und da sogar von beträchtlich grösseren Zellflächen. — Ebenso bieten auch die zu a) gehörigen Objecte keine erheblichen Schwierigkeiten, da es sich hier nur um die Frage handeln kann, ob die Scheidewände eine gesetz-

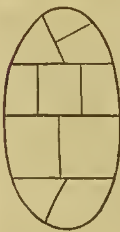


Fig. 235.

mässige Stellung einnehmen, oder ob sie regellos nach den verschiedenen Richtungen der Fläche orientirt seien.

Es bleiben also nur die Theilungsvorgänge in Zellflächen von 515
grösserer Ausdehnung, und soweit sie den unter b) und c) erwähnten Kategorien angehören, ausführlicher zu besprechen übrig. Hier ist vor Allem ein strenges Auseinanderhalten der Randzellen und der den Rand nicht berührenden Flächenzellen geboten, d. h. es ist nothwendig, das durch jene bedingte peripherische Wachsthum und das intercalare der Flächenzellen gesondert zu betrachten.

Halten wir uns zunächst an das peripherische Wachsthum, so ist leicht einzusehen, dass die Randzellen mit den ursprünglichen Flächenzellen, welche durch die successiven Theilungen von jenen abgeschnitten werden, ein System von Zellreihen oder Zellfäden repräsentiren, von denen jeder sein selbständiges Wachsthum besitzt. Jede Randzelle ist die Scheitelzelle eines solchen Fadens, und die sämmtlichen Flächenzellen gruppiren sich genetisch in Reihen von Gliederzellen. Alle Eigenthümlichkeiten des peripherischen Flächenwachsthums sind hienach zurückführbar auf solche von Zellreihen. Einige Beispiele mögen zeigen, welcher Art die hier vorkommenden Verschiedenheiten sind.

In Fig. 236 ist die Flächenansicht eines Vorkeims von *Acrochaetium pulvereum Näg.* dargestellt. Man sieht auf den ersten Blick, dass das Wachsthum hier ein allseitig gleichmässiges ist, indem die radialen Zellreihen sich nach einwärts bis auf einen ziemlich centralen Punkt verfolgen lassen. Die Scheidewände, welche man in den Randzellen beobachtet, zeigen überdiess deutlich, wie die Vermehrung der Reihen mit zunehmendem Umfang stattfindet. Ebenso geht aus der ganzen Anordnung der Zellen und der gleichmässigen Dicke der Scheidewände unzweifelhaft hervor, dass intercalare Zelltheilungen hier nicht stattgefunden haben. Zur Vervollständigung der Wachsthumsgeschichte bleibt also nur noch übrig, die jüngsten Zustände zu vergleichen, um hier die ersten Theilungen zu ermitteln.

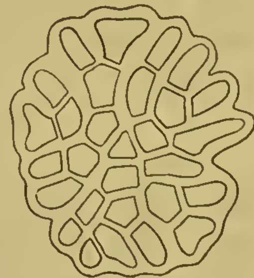


Fig. 236.

Als zweites Beispiel ist in Fig. 237 die Thallusspitze von *Stypopodium atomarium Ktz.* veranschaulicht. Die Abbildung ist halbschematisch, indem die Zellreihen, welche in Wirklichkeit zum

Gewebe verbunden sind, hier als getrennte Fäden erscheinen. Der Verlauf dieser Fäden, welcher auch am Object selbst deutlich hervortritt, und die äussere Gestalt der ganzen Zellfläche zeigen deutlich, dass das Wachsthum nicht, wie im vorhergehenden Falle, ein allseitig-

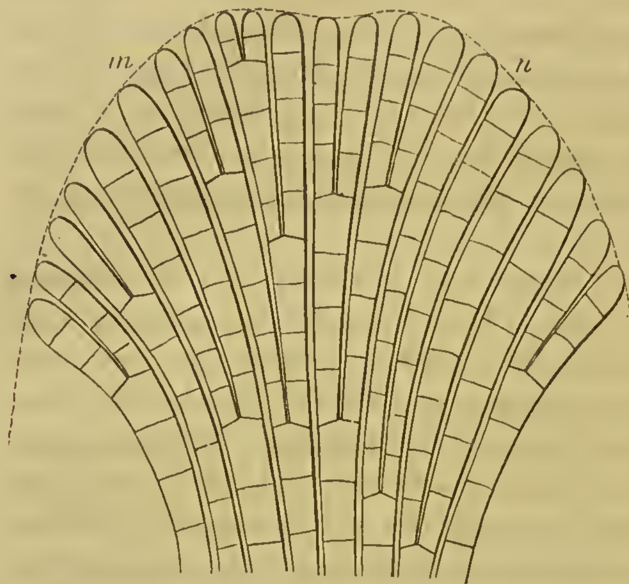


Fig. 237.

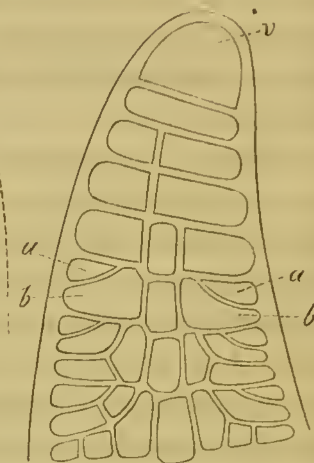


Fig. 238.

gleichmässiges ist, sondern in der Zone zwischen *m* und *n* mit weitaus vorwiegender Lebhaftigkeit von statten geht. Man hat es also mit einer Zellfläche zu thun, welche eine vorzugsweise bildungsfähige Region besitzt, die man desshalb als Scheitelregion bezeichnen kann.

516 Ein ferneres Beispiel eines ausgesprochenen Scheitelwachsthums liefert die Thallusspitze von *Delesseria Hypoglossum* (Fig. 238). Hier ist es eine bestimmte Randzelle, die Scheitelzelle *v*, welche sich vor allen andern dadurch auszeichnet, dass sie allein das Längenwachsthum der Zellfläche vermittelt, indem sie sich immer wieder durch senkrecht zur Längsrichtung gestellte Wände theilt. Die Thallusspitze verhält sich also gewissermaassen wie ein einfacher Zellfaden, sie besteht aus einer Scheitelzelle und den davon abgeschnittenen Gliederzellen; das Unterscheidende liegt bloss darin, dass die letztern sich nach verschiedenen Richtungen weiter theilen. Man ersieht aus der Figur, dass in den Gliederzellen zunächst eine excentrische Längswand auftritt, dann eine zweite symmetrische auf der andern Seite, so dass dadurch eine aus zwei gleichwerthigen Rand-

zellen und einer mittleren Flächenzelle bestehende Querreihe gebildet wird. Die Randzellen theilen sich nun durch schiefe und etwas gebogene Wände in zwei, worauf der innere Theil der untern durch eine kurze Scheidewand, die sich oberseits an die gebogene ansetzt, abgeschnitten und zur Flächenzelle wird, während der äussere als Randzelle weiter wächst. Die beiden neben einander liegenden Randzellen *a* und *b* verhalten sich von jetzt an wie die Scheitelzelle eines Zellfadens; sie theilen sich durch Wände, welche mit den eben beschriebenen annähernd parallel laufen. Der von der obern Randzelle durch jede neue Scheidewand abgeschnittene Theil berührt mit seiner Aussenseite die Peripherie, ist also abermals eine Randzelle. Dieselbe theilt sich, wie die mit ihr gleichwerthige Zelle *b*, durch längsverlaufende Wände und zwar ebenfalls so, dass immer nur die den Rand berührende Zelle theilungsfähig bleibt.



Fig. 239.

Die Zellfläche, welche durch die angedeuteten Theilungsvorgänge gebildet wird, lässt sich also auch hier auf ein System von Zellfäden zurückführen, wie es in Fig. 239 für ein einzelnes Glied veranschaulicht ist.

Das Nämliche gilt schliesslich auch für diejenigen Zellflächen mit Scheitelzellen, bei denen die Theilung der letztern durch abwechselnd nach rechts und links geneigte Wände erfolgt, wie es z. B. beim Moosblatt der Fall ist Sie lassen sich sämmtlich in Sympodien von Zellfäden auflösen, deren Scheitelzellen sich durch successive Querwände theilen (Fig. 240).

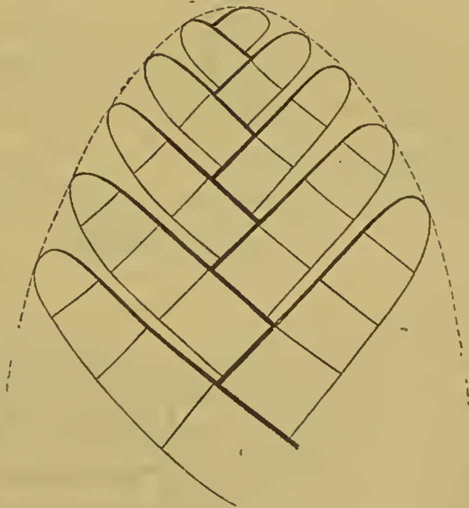


Fig. 240.

517 Die Frage, ob eine Scheitelzelle vorhanden sei oder ob die Zellfläche mit mehreren oder vielen unter sich gleichwerthigen Randzellen, welche in der Krümmung der Scheitelregion liegen, in die Länge wachse, ist übrigens nicht immer so leicht zu entscheiden. Es kann im Gegentheil vorkommen, dass hierüber selbst der geübte Beobachter erst nach Vergleichung zahlreicher Präparate zu einer bestimmten Anschauung gelangt, indem Organe, welche nachweisbar eine Scheitelzelle besitzen, bei oberflächlicher Betrachtung oft gerade so aussehen wie solche mit vielen Scheitelzellen. Dieser Fall muss in mehr oder minder täuschendem Grade immer eintreten, sobald die von der Scheitelzelle abgeschnittenen Glieder oder Segmente ein starkes peripherisches und intercalares Wachsthum zeigen, wobei zugleich die in den Randzellen auftretenden Scheidewände ähnlich gestellt sind, wie die successiven Wände der Scheitelzelle.

In Fig. 241 und 242 sind beispielsweise zwei Zellflächen, welche die bezeichneten Bedingungen erfüllen, abgebildet; Fig. 241 stellt das Thallomende von *Nitophyllum laceratum*, Fig. 242 dasjenige von *Delesseria sinuosa* dar. Die Scheitelzellen sind bei beiden mit *v* bezeichnet und die den ersten Theilungen entsprechenden Wände im Gewebe, wenigstens in der Nähe der Scheitelzelle, durch stärkere Linien hervorgehoben. Wie man aus den Figuren ersieht, geschieht das Scheitel-

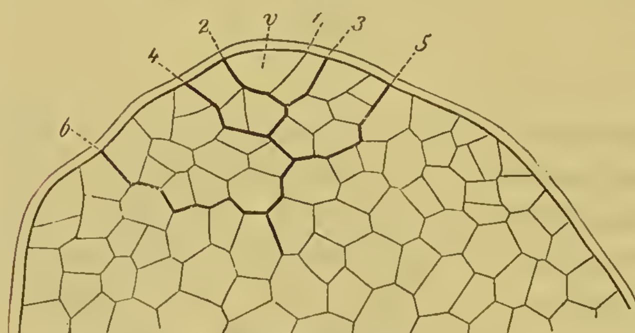


Fig. 241. (460)

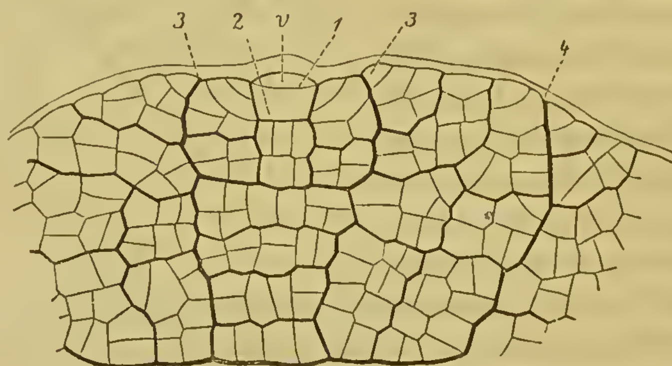


Fig. 242. (460)

wachsthum bei Nitophyllum durch alternirend nach rechts und links geneigte Wände, welche indess durch die spätern Wachsthums-

erscheinungen bald zickzackförmig gebrochen werden und in einiger Entfernung von der Scheitelzelle nicht mehr erkennbar sind; die Ziffern 1 bis 6 bezeichnen die Reihenfolge derselben von oben nach unten. Bei Delesseria dagegen erfolgt die Theilung durch Querwände (1 bis 4 in der Figur); man hat es hier mit aufeinander folgenden Gliedern zu thun, von denen die ältern beiderseits über die jüngern hinaufwachsen. Jedes Glied theilt sich zunächst, ganz wie bei Delesseria Hypoglossum, in zwei Randzellen und eine mittlere; allein hier ist die letztere, wie alle folgenden Flächenzellen, selbst wieder theilungsfähig.

Wir bemerken noch, dass die in den Zeichnungen durch stärkere Linien hervorgehobenen Wände am Object selbst keineswegs in diesen Abstufungen hervortreten, sondern im Gegentheil oft fast gar nicht von den übrigen verschieden sind. Die zusammengehörigen Zellgruppen lassen sich erst nach Zusatz von Quellungsmitteln einigermaassen überblicken, und selbst dann ist es immer unerlässlich, zahlreiche Thallusenden zu untersuchen und die günstigsten zu combiniren, um den Aufbau bis zu einer vorgerückteren Stufe der Entwicklung Zelle für Zelle festzustellen.

Die intercalaren Zelltheilungen, welche in den von den 518
Randzellen abgeschnittenen Flächenzellen, den Gliederzellen der Reihen, nachträglich stattfinden, lassen sich in allen Fällen, wo das periphérische Wachsthum genau bekannt ist, leicht übersehen. Man hat nur nöthig, sich den Aufbau des Zellennetzes, welches durch die Theilungen der Randzellen gebildet wird, klar vorzustellen oder auf dem Papier zu construiren: die intercalaren Wände erscheinen alsdann als eingeschobene Stücke. So lässt sich z. B. aus der Stellung der Scheidewände im Blatte von Sphagnum leicht entnehmen, dass jede Zelle der schief verlaufenden Reihen, aus welchen die Zellfläche besteht, sich zuletzt durch eine Querwand und hierauf die untere Theilzelle durch eine Längswand theilt. Gewöhnlich gehen diesem Theilungsvorgang noch andere intercalare Theilungen voraus, die sich aber in dem ursprünglichen Zellennetz ebenso leicht erkennen lassen. Erst wenn die Zahl der intercalaren Scheidewände beträchtlich grösser ist, wie in den oben erwähnten Thallusenden von Delesseria sinuosa und Nitophyllum laceratum, ist die Ermittelung der Aufeinanderfolge mit Schwierigkeiten verbunden und zwar mit um so bedeutenderen, je stärker die Formveränderungen der Zellen.

3. Zellkörper.

519 Als Zellkörper bezeichnen wir diejenigen Zellcomplexe, welche aus zwei oder mehreren Lagen von Zellen bestehen. Da die äussern Formen derselben sehr verschieden sind und die Wachsthumsverhältnisse theilweise damit im Zusammenhang stehen, so müssen folgende Fälle unterschieden werden.

a) Zellkörper, welche aus Zellflächen entstehen.

Es gibt blattähnliche Gebilde, deren Scheitelregion aus einer Lage, wenn auch nur von wenigen Zellen besteht, indess die ältern Partieen derselben zwei oder mehrere solcher Lagen aufweisen. Man hat es in solchen Fällen mit Organen zu thun, bei welchen auf das Flächenwachsthum ein davon durchaus unabhängiges Dickenwachsthum folgt, das sich bald auf die ganze Breite ausdehnt, bald auf einen mittleren Theil beschränkt bleibt. Die Theilungsvorgänge, welche dieses Dickenwachsthum bedingen, können indess auf Durchschnitten, welche senkrecht zur Flächenausdehnung geführt wurden, genau in derselben Weise ermittelt werden, wie die Theilungen bei Zellflächen, und bedürfen daher keiner weitern Erörterung. Das Wachsthum kann auch hier ein rein peripherisches sein, indem stets nur die die Oberfläche berührenden Zellen theilungsfähig sind, oder es können auch die im Innern liegenden Zellen sich wieder theilen. Das erstere ist z. B. der Fall bei *Delesseria*, bei *Stypopodium* (Fig. 243, Stück eines Querschnittes durch die Thallomspitze), das letztere bei der Mittelrippe der Moosblätter. Wo die Reihenfolge der Scheidewände im fertigen Zustande zweifelhaft ist, muss dieselbe, wie immer, nach Quer- oder Längsschnitten durch jüngere Entwicklungsstadien festgestellt werden.

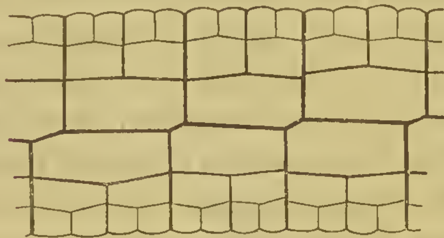


Fig. 243.

b) Kleinere Zellgruppen, welche aus einer einzigen Zelle entstehen.

520 Das Studium solcher Zellgruppen, denen man bei einzelligen Algen, Flechtengonidien, Drüsenhaaren etc. häufig begegnet, beginnt naturgemäss mit der Ermittlung der anatomischen Verhältnisse: die Anordnung der Zellen im entwickelten oder doch in einem vorge-

rückteren Zustande muss zuerst bekannt sein, ehe man die Frage aufwerfen kann, wie sie zu Stande kommt. Zu diesem Behufe muss das Object, auch wenn es nur aus zwei übereinander liegenden Zellenlagen besteht, unter dem Mikroskop so lange gedreht werden, bis man das Zellennetz der Oberfläche zu construiren im Stande ist und die einzelnen Zellen in jeder beliebigen Lage wieder erkennt. Diese Manipulation setzt allerdings einige Uebung voraus, doch kann sie in der Regel dadurch bedeutend erleichtert werden, dass man das Deckgläschen mit dem einen oder mit beiden Rändern auf Papierstreifen legt. Die letztern bilden alsdann beim Drücken mit der Nadel eine elastische Unterlage, welche eine langsame Strömung im Wasser und damit eine langsame Drehung des Objectes hervorzurufen gestattet.

Um zu ermitteln, ob alle Zellen der Gruppe die Oberfläche berühren, oder ob vielleicht einzelne im Centrum liegen, welche allseitig umschlossen sind, ist es oft zweckmässig und ausreichend, den Zellinhalt durch wasserentziehende Reagentien zu contrahiren. Dadurch wird es möglich, eine grössere Zahl von Zellen mit einem Blick zu übersehen und die übereinander liegenden Zellen in ihren natürlichen Niveauverhältnissen zu beobachten. So z. B. bei den Gonidiengruppen der Flechten, den Keimhäufchen und Antheridien der Florideen in den ersten Entwicklungsstadien, den Brutknospen der Moose und Lebermoose, den Colonieen einzelliger Algen etc. Sind die Complexe grösser, so führt in manchen Fällen ein Durchschneiden derselben zum Ziel, was namentlich bei solchen, die man ohne Nachtheil in Gummi eintrocknen lassen darf, sich ohne alle Schwierigkeit ausführen lässt. — Uebrigens ist das Studium der Zelltheilungen in kugelförmigen Gebilden eine der schwierigsten Aufgaben dieser Art, die bis jetzt nur für 2 bis 3 Zellenlagen im Durchmesser gelöst worden ist.

c) Zellkörper mit peripherischem Wachsthum ohne ausgezeichnete Scheitelzellen, meist durch bogenförmig gegen die Oberfläche verlaufende Zellreihen charakterisirt.

Lässt man die Zellflächen (Fig. 236 u. 237), deren Wachsthums- 521
verhältnisse oben besprochen wurden, in Gedanken um eine Längs- oder Queraxe rotiren, indem man zugleich den Verlauf der Zellreihen auf den durchlaufenen Raum überträgt, so geben die Körper, welche man auf diese Weise erhält, gewissermaassen einen Begriff von den

Verschiedenheiten, welche zwischen den hieher gehörigen Wachsthumstypen obwalten. Eine kreisförmige Fläche mit ringsum gleichmässigem Wachsthum, oder ein beliebiger Abschnitt derselben, wird auf diese Weise zur Kugel oder zum Kugelsegment, in welchen beiden die Zellreihen strahlenförmig von innen nach aussen verlaufen. Ebenso entsteht durch Umdrehung der Fläche Fig. 237 (p. 564) um ihre Längsaxe ein cylindrischer Zellkörper mit Scheitelwachsthum, in welchem die Zellreihen nach allen Seiten bogenförmig gegen die Oberfläche divergiren, und in gleicher Weise lassen sich auch die laub- und krustenartigen Thallome der Algen und Flechten auf entsprechende Zellflächen zurückführen: sie repräsentiren im Raume das, was die erzeugende Fläche in der Ebene ist.

Die Fragen, welche bei der Untersuchung solcher Zellkörper zu entscheiden sind, ergeben sich hienach von selbst. Es handelt sich, wie bei den Zellflächen, zuerst um die Feststellung der peripherischen Wachsthumsvorgänge, und sodann in zweiter Linie um die intercalaren Theilungen der Innenzellen, d. h. der innerhalb der oberflächlichen Schicht gelegenen Gliederzellen der Reihen. Beides wird hier durch den Umstand erschwert, dass die bei der Theilung auftretenden Scheidewände nach verschiedenen Richtungen des Raumes orientirt sind und folglich nur durch Combination verschiedener Durchschnitte oder Durchschnittsansichten, namentlich radialer und tangentialer, räumlich construirt werden können. Wie diess geschieht, mag am besten durch einige Beispiele erläutert werden.

Denken wir uns, die Fig. 244 stelle einen longitudinalen Me-

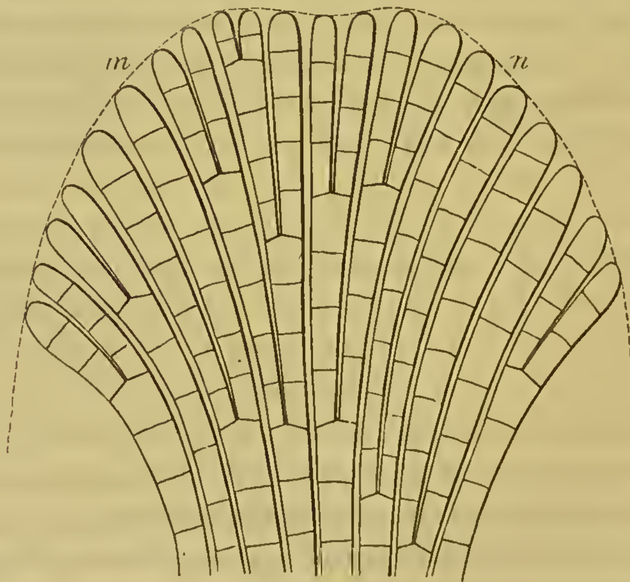


Fig. 244.

dianschnitt durch ein cylindrisches Thallom dar. Der Beobachter hat alsdann zunächst alle die Fragen zu lösen, die sich bei der einfachen Zellschicht ebenfalls darbieten, dazu aber ferner die Stellungsverhältnisse und die Aufeinanderfolge der Scheidewände zu ermitteln, welche in den Randzellen und vorkommenden Falls auch in den Innenzellen auftreten. In unserer Figur ergibt sich aus der Art, wie sich die Zellreihen aneinander anschliessen, dass die Verzweigung derselben in Folge des peripherischen Wachsthums eine dichotomische ist, indem nie mehr als eine Zweigreihe von der nämlichen Gliederzelle abgeht. Stünden die Zweigreihen gepaart oder in Quirlen, so müsste sich diess auf Längsschnitten ebenso deutlich kundgeben. Es bleibt also nur zu untersuchen, ob die auf einander folgenden Gabelungen derselben Reihe in Ebenen liegen, die sich rechtwinklig kreuzen oder irgend eine andere gesetzmässige Beziehung zu einander zeigen, und hierüber geben theils die Durchschnittsansichten, theils die Ansichten der peripherischen Zellen von der Oberfläche die nöthigen Anhaltspunkte.

d) Zellkörper, welche eine Scheitelzelle besitzen.

Ob ein zu untersuchendes körperliches Gebilde mit mehreren oder vielen Zellreihen in die Länge wachse, oder ob es eine einzige Scheitelzelle besitze, welche sich durch schiefe oder quergestellte Wände theilt, ist in manchen Fällen keineswegs leicht zu entscheiden. Die Zellkörper können in dieser Beziehung zu den nämlichen Täuschungen Veranlassung geben, welche oben (pag. 566) bei den Zellflächen erwähnt wurden. Es ist alsdann nothwendig, die Gruppirung der Zellen in der Scheitelregion, welche letztere schon durch den jugendlichen Habitus des Gewebes sich immer hinlänglich auszeichnet, auf Längs- und Querschnitten genau zu studiren und nöthigenfalls durch Constructionen auf dem Papier sich über das Zustandekommen der Reihen und Complexe, in welche die Zellen mehr oder minder deutlich geordnet erscheinen, Rechenschaft zu geben. 522

Auch die Theilungsweise der Scheitelzelle, ob durch Querwände oder durch schiefe, muss in schwierigen Fällen vorzugsweise aus der Stellung der Zellcomplexe erschlossen werden. In andern ist die Sache freilich sehr leicht. Es ist klar, dass eine Anordnung der Zellen wie in Fig. 245 nur durch successive Querwände, diejenige der Fig. 246 nur durch alternirend nach rechts und links geneigte Wände entstanden sein kann. Dieser letztere Typus wird allerdings etwas verwischt, wenn der Winkel, den die alternirenden Scheidewände

mit einander bilden, sehr spitz ist, jedoch nur in dem Sinne, dass das Vorhandensein einer Scheitelzelle zweifelhaft wird; eine Ver-

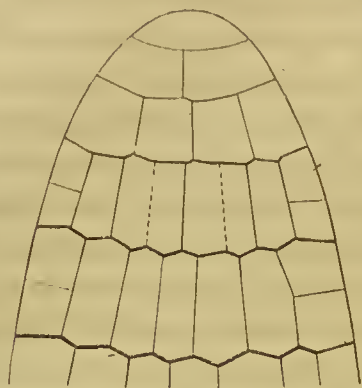


Fig. 245.

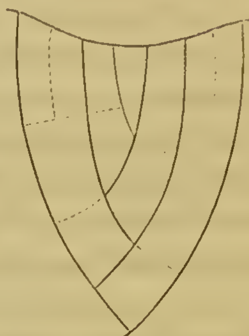


Fig. 246.

wechslung mit dem vorhergehenden ist in diesem Falle nicht möglich. Dagegen kann es vorkommen, dass je zwei alternirende Scheidewände, die unter sehr stumpfem Winkel zusammenstossen, wie eine einzige schwach gebogene Querwand aussehen, aber auch diess nur dann, wenn die ursprüngliche Lage der Wände bereits eine kleine Veränderung erfahren hat. An günstigen Präparaten, welche das Stadium unmittelbar nach der letzten Theilung repräsentiren, ist die schiefe Stellung der Wände nicht zu verkennen.

Ob schief gestellte Wände bloss nach zwei Richtungen des Raumes geneigt sind, was bei Zellkörpern ebenfalls vorkommt, oder ob sie nach Art der spiralig gestellten Blätter nach verschiedenen Richtungen von der Längsaxe divergiren, gibt sich zuweilen schon in der Seitenansicht kund, sofern nämlich die senkrechte oder schiefe Stellung einer Wand, die beim Heben und Senken des Focus leicht zu unterscheiden sind, hierüber entscheidet. Zur Controle und um bei spiraliger Anordnung die Divergenzen zu ermitteln, darf man indess nie versäumen, die Scheitelzelle und deren Umgebung auch von oben zu betrachten.

Bei zweiseitig gestellten Scheidewänden ist übrigens wohl zu beachten, dass die Ansicht Fig. 246 nur einer ganz bestimmten Lage des Objects entspricht. Dreht man solche Objecte um ihre Längsaxe, bis das eine System der Scheidewände dem Auge zugekehrt, das andere abgekehrt ist, so erhält man oft Bilder, welche mit Fig. 245 eine grosse Aehnlichkeit haben. Es ist desswegen absolut nothwendig, die Scheitelregion von verschiedenen Seiten oder in verschiedenen Durchschnittsansichten zu beobachten.

Findet unmittelbar unter der Scheitelzelle oder in der Umgebung derselben ein beträchtliches Dickenwachsthum statt, wodurch das Gewebe undurchsichtig wird, so ist es nothwendig, eine mittlere Lamelle, welche nach oben in die Scheitelzelle endigt, herauszuschneiden, um zur Feststellung der Theilungsgesetze den Aufbau des Organs nach rückwärts verfolgen zu können. Die mittlern Zellreihen eignen sich hiezu immer am besten, weil die Theilungen und Formveränderungen hier weniger rasch als in der Nähe der Oberfläche erfolgen. Dass man bei blattartigen Organen parallel mit der Blattfläche zu schneiden hat, um das Flächenwachsthum, und senkrecht dazu, um das Dickenwachsthum zu ermitteln, versteht sich von selbst.

Die Entwicklungsfolge der Scheidewände in den von der Schei- 523
telzelle abgeschnittenen Gliederzellen betreffend, so ist zum Voraus zu bemerken, dass dieselbe bis jetzt nur für die einfacheren Fälle und zwar vorzugsweise für Organe mit rein peripherischem Wachsthum festgestellt ist. Die complicirteren Theilungsvorgänge, welche die Gewebebildung bei höheren Pflanzen vermitteln, lassen sich höchstens für einen Theil der Scheitelregion, dann aber nicht mehr, Zelle für Zelle verfolgen. Zur Veranschaulichung der dabei einzuschlagenden Untersuchungsverfahren mögen folgende Beispiele dienen.

*) Die Scheitelzelle theilt sich durch Querwände.

Hier ist zunächst zu untersuchen, ob die von der Scheitelzelle abgeschnittenen Gliederzellen sich vorerst ein oder mehrere Male durch Querwände theilen oder ob das Dickenwachsthum ohne diese vorläufige Quertheilung beginnt. Man verfährt hiebei in gleicher Weise, wie bei einfachen Zellreihen.

Die Hauptaufgabe besteht sodann darin, die Richtung und Aufeinanderfolge der Längswände in den Gliederzellen zu ermitteln. Hiezu sind natürlich Querschnittsansichten der verschiedenen Entwicklungsstadien erforderlich. In Fig. 247 sind solche Ansichten

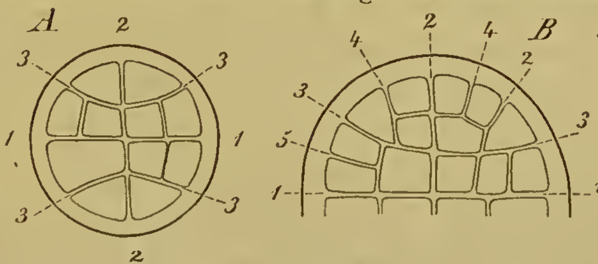


Fig. 247 (300).

von *Schizomeris Leibleinii Kg.* dargestellt; *A* ist ein noch junges, *B* ein etwas vorgerückteres Stadium. Die Anordnung der Scheidewände ergibt sogleich die durch die beigefügten Ziffern angedeutete Entwicklungsfolge (nur für 1 und 2 ist die Reihenfolge in der Figur unbestimmt). Geht die Theilung noch weiter, so lassen sich auch die späteren Wände, welche in den Randzellen auftreten, ohne Schwierigkeit deuten und construiren.

Dasselbe gilt für *Sphacelaria* und für die quirlständigen Aeste von *Cladostephus* (Fig. 248 *A*, *B*, *C*, drei verschiedene Theilungsarten); nur kommen hier noch Quertheilungen der peripherischen Zellen hinzu, welche natürlich nur auf Längsansichten oder Längsschnitten verfolgt werden können. Um das Verhältniss

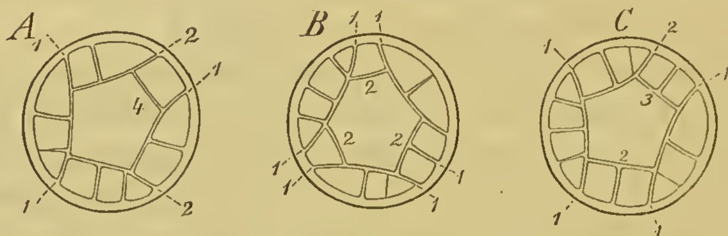


Fig. 248 (350).

der beiden Theilungsvorgänge, nämlich der Quer- und Längstheilungen, zu einander festzustellen, d. h. um die Scheidewände im Raume construiren zu können, ist es unerlässlich, einzelne Glieder langsam zu drehen und während der Drehung das oberflächliche Zellennetz Stück für Stück zu skizziren. Gelingt es, dasselbe Stück auch im Querschnitt zu beobachten, so ist damit ein sicherer Anhaltspunkt zur Controlirung gegeben; gelingt diess nicht, so muss das Theilungsgesetz aus der Zahl der Längs- und Querwände im Zellennetz ermittelt werden. Kommen z. B. 3—4 Querwände auf 5—7 Längswände (Fig. 249), und hat sich die letztere Zahl als die gewöhnliche der peripherischen Zellen erwiesen, so ist sicher, dass sich diese zuerst durch Querwände und dann erst durch Längswände theilen.


Fig. 249.

Das Drehen dünner cylindrischer Stücke unter dem Mikroskop geschieht, wie bei kugeligen Zellgruppen, dadurch, dass man durch schwaches Drücken mit der Nadel langsame Strömungen hervorruft,

welche eine ebenso langsame Drehung bewirken. Dickere Stücke, welche mit ihrer obern Fläche das Deckgläschen berühren, lassen sich auch wohl durch Verschieben desselben wie eine Walze rollen.

Ein weiter gehendes Dickenwachsthum, wobei die Randzellen längere Zeit theilungsfähig bleiben und die Innenzellen sich ebenfalls wiederholt theilen, bietet indessen auch dem geübten Mikroskopiker sehr bald unüberwindliche Schwierigkeiten; er muss sich für die späteren Stadien darauf beschränken, die allgemeineren Theilungsgesetze festzustellen, wie diess ja auch bei den Geweben höherer Pflanzen durchgehends der Fall ist.

Ein schwieriges Object dieser Art sind schon die Stammenden von *Cladostephus*. Die ersten Theilungen erfolgen, wie die Querschnitte durch günstige Thallusenden ergeben, nach dem in Fig. 250 dargestellten Typus (die Ziffern bezeichnen die Reihenfolge der Scheidewände); dann aber werden die Verhältnisse rasch so complicirt, dass es schwierig wird, den Aufbau Zelle für Zelle weiter zu verfolgen. Dazu kommt noch, dass die dünnen Wandungen der Zellen, schon weil sie das Eintrocknenlassen in Gummi nicht gestatten, die Anfertigung guter Querschnitte erschweren, was jedenfalls mit zur Ermüdung des Beobachters beiträgt. Die allgemeineren Wachsthumsverhältnisse: ein vorherrschend peripherisches Wachsthum, die Bildung radialer Reihen, die sich im Querschnitt dichotomisch verzweigen, das scheinbare Hineinwachsen der Aeste ins Gewebe etc. lassen sich dagegen ohne Schwierigkeit auf Durchschnitten durch den ältern Stamm ermitteln. Wir werden weiter unten hierauf zurückkommen.

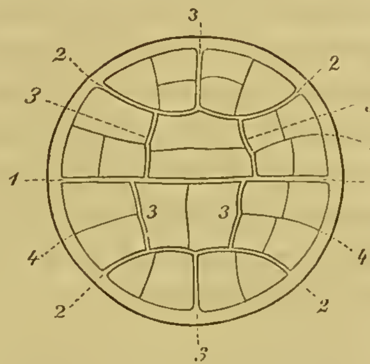


Fig. 250.

Sind die ersten Theilungen in den einzelnen Gliedern bekannt, 524
so ist auch die weitere Frage von Interesse, ob die erste Längswand einer beliebigen Gliederzelle zu derjenigen des vorhergehenden oder nachfolgenden Gliedes in einem bestimmten Stellungsverhältnisse stehe, ob überhaupt eine gewisse Abhängigkeit der Theilungsvorgänge von einander sich nachweisen lasse. Die Untersuchung dieser Frage geschieht am sichersten auf Querschnitten, bei welchen die beiden Schnittflächen durch zwei successive Glieder gehen. Die höhere Ein-

stellung zeigt alsdann die Scheidewände des oberen, die tiefere diejenige des unteren Gliedes. Zur Sicherheit kann man es auch versuchen, die Stücke umzukehren und nach einander von oben und unten zu betrachten. Auf diese Weise findet man z. B., dass die ersten Scheidewände bei *Polysiphonia*, ähnlich wie die Blätter bei höheren Pflanzen, spiralig gestellt sind und dass bei 4 Aussenzellen jede folgende um ungefähr 1/4 des Kreisumfanges von der vorhergehenden divergirt. Ebenso scheinen auch bei *Sphacelaria* und bei den Aesten von *Cladostephus* regelmässige Divergenzen vorzukommen.

**) Die Scheitelzelle theilt sich durch schiefe Wände.

525 Als Beispiel eines solchen Wachsthums ist in Fig. 251 die Scheitelregion des Equisetum-Stammes abgebildet; *A* ist ein in der Längsrichtung geführter Mediansehnitt, *B* die schematisirte Ansicht von oben. Man erkennt hier die dreieckige Scheitelzelle auf den ersten Blick; überdiess zeigt die Quersehnittsansicht *B*, dass die in derselben successiv auftretenden Scheidewände nach drei verschiedenen Richtungen, die nahezu um den dritten Theil des Umfanges von einander abstehen, orientirt sind. Die 4. Wand läuft also parallel der ersten, die 5. parallel der 2. u. s. f. Die Reihenfolge der Wände von unten

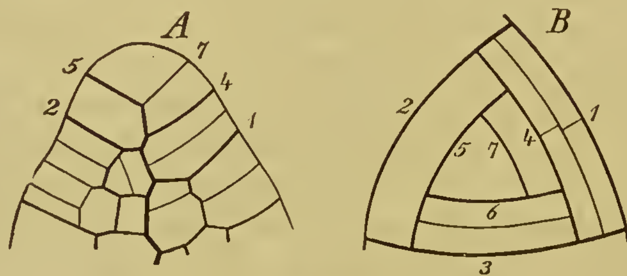


Fig. 251.

nach oben ist in *B* durch die entsprechenden Ziffern bezeichnet. In *A* sind natürlich nur die Wände 1, 4 und 7 und die damit parallelen auf der einen Seite, sowie 2 und 5 auf der andern Seite sichtbar; das dritte System (nämlich 3, 6 und die damit parallelen Wände) geht dem Gesichtsfelde parallel oder steht doch zu schief, um noch gesehen zu werden.

Aus den beiden Ansichten *A* und *B* ist ferner zu entnehmen, wie die von der Scheitelzelle abgeschnittenen Zellen sich weiter theilen. Die zuerst auftretenden Wände (zwischen 1 und 4 in *A* und *B*, ferner zwischen 3 und 6 in *B*) verlaufen den ursprünglichen parallel;

dann folgen radial gestellte Wände (zwischen 1 und 4 in *B*), welche die Segmente in zwei gleichwerthige Hälften theilen. Die spätern Theilungen sind schon schwieriger zu ermitteln; Alles, was bis jetzt darüber festgestellt ist, bezieht sich auf einige wenige der ursprünglichen Segmente.

III.

Allgemeinere Wachsthumsgesetze.

1. Wachsthumsvorgänge: Zellenbildung und Zellenausdehnung.

Wenden wir uns jetzt zur Untersuchung derjenigen Organe, 526
deren Wachsthum sich nur noch im Allgemeinen, aber nicht mehr Zelle für Zelle verfolgen lässt, was bekanntlich sowohl bei Stämmen und Wurzeln, als auch bei Blättern höherer Pflanzen der Fall ist. Schon bei den Gefässkryptogamen finden wir in der Scheitelregion ein kleinzelliges Parenchym, und wenn auch eine Scheitelzelle bei den meisten nachgewiesen und die Theilungsweise derselben festgestellt ist, so zeigt doch das Gewebe unterhalb der Scheitelzelle durchgehends denselben Charakter, wie bei den Phanerogamen. Wir wissen nur, dass seine Zellen sich eine Zeit lang nach allen Richtungen des Raumes theilen, und weiter nichts. An die Stelle von einzelnen Zellen treten also hier gewissermaassen Zellcomplexe; der Gegensatz zwischen Randzellen und Flächenzellen etc. geht über in denjenigen verschiedener Gewebe (Cambium, Mark, Rinde etc.), deren Elementarorgane mit Rücksicht auf Theilbarkeit oder Ausdehnungsfähigkeit nach dieser oder jener Richtung übereinstimmen.

Dem entsprechend modificirt sich auch die Aufgabe des Beobachters. Er hat es hier nicht mehr mit der Entwicklungsfolge bestimmter Scheidewände, sondern mit den Wachsthumsprocessen und Theilungsvorgängen in grösseren Partieen zu thun. Wie entstehen in einem ursprünglich homogenen Parenchym Gewebe von ganz anderer Beschaffenheit? Wie verhalten sich nach stattgefundener Differenzirung die verschiedenen Theile; welche fahren fort zu wachsen und welche nicht? Geschieht das Wachsthum bloss durch Zellenausdehnung oder durch Theilung und, wenn das letztere der Fall, in welcher Richtung treten vorzugsweise die neuen Scheidewände auf? Wo erlischt die Entwicklungsfähigkeit eines Gewebes — sowohl im Querschnitt als im Längsverlaufe beobachtet — zuerst und nach wel-

chen Gesetzen schreitet der Uebergang in Dauergewebe fort? Das sind die Fragen, die sich der Beobachter bei Ermittelung des Wachsthums der höheren Pflanzen zu stellen hat. Ehe wir jedoch näher darauf eingehen und mit specieller Berücksichtigung der Gefässpflanzen den Gang der Untersuchung präcisiren, wollen wir, um den oben abgebrochenen Faden wieder aufzunehmen, zunächst untersuchen, inwieweit die allgemeineren Wachsthumsgesetze für den älteren Stamm von *Cladostephus* sich feststellen lassen.

Der Querschnitt durch ein nicht allzu junges Internodium zeigt hier deutlich eine mittlere Gruppe von Zellen, welche durch Form und Anordnung sich von den umgebenden unterscheiden und also eine Art Mark bilden. Man sieht auch deutlich, dass einzelne Zellen sich nachträglich noch getheilt haben, das Wachsthum also jedenfalls kein rein peripherisches ist. Diese mittlere Gruppe ist von einer rindenartigen Hülle umgeben, deren Zellen sich in deutliche radiale Reihen ordnen und gegen die Peripherie zu etwas kleiner werden. Die Verzweigung der Reihen bei zunehmender Dicke des Stammes geschieht durch Theilung der Randzellen in der in Fig. 252 angedeuteten Weise, seltener durch eine radiale Wand. Ein weiteres intercalares Wachsthum dieser Reihen findet nur ausnahmsweise statt; in der Regel ist sogar die Zellenausdehnung sehr unbedeutend. Die Längsschnitte ergeben ferner, dass die mittleren Zellen langgestreckt, die peripherischen dagegen kurz sind. Am längsten sind immer die zwei oder drei centralen; es kommen hievon in den älteren Stadien, wie in den jüngsten, nur zwei auf ein Internodium. Im Centrum haben also offenbar keine Quertheilungen mehr stattgefunden, während dieselben weiter aussen im Marke wiederholt eintreten mussten, da hier 4—8 Zellen auf ein Internodium gehen. Die Rinde endlich zeigt noch kürzere und unregelmässig gruppirte Zellen, welche offenbar auch durch intercalare Scheidewände sich vermehren und überdiess nicht unerhebliche Formveränderungen und Verschiebungen erfahren. Es ist daher nur an günstigen Schnitten möglich, einige etwas deutlicher hervortretende Zickzacklinien als frühere Scheidewände zu erkennen und hienach auf die ersten Theilungen der peripherischen Zellen zurückzuschliessen. Diese scheinen, was den Verlauf der Wände auf solchen Längsansichten betrifft, in ähnlicher Weise


Fig. 252.

zu erfolgen, wie oben bei *Delesseria Hypoglossum* (pag. 564). Das Dickenwachsthum ist jedenfalls, trotz der intercalaren Theilungen, ein vorwiegend peripherisches. Dass die quirlständigen Aeste scheinbar in den Stamm hineinwachsen, erklärt sich in gleicher Weise, wie bei unseren dicotylen Bäumen.

Wie in dem angeführten Beispiel die grössere Länge der centra- 527
len Zellen sich daraus erklärt, dass dieselben sich während der Streckung der Internodien bloss verlängern ohne sich durch Querwände zu theilen, so lässt sich nun auch die Entstehung der langgestreckten Cambiumzellen im ursprünglichen Bildungsgewebe der Gefässpflanzen oder überhaupt in einem kurzzelligen Gewebe denken. Es ist einleuchtend, dass wenn gewisse Zellen sich bloss durch Längswände theilen, während die umgebenden sich nach allen Richtungen des Raumes zu theilen fortfahren, die Tochterzellen der ersteren sehr bald die drei- bis vierfache Länge der letzteren erreichen müssen. Diess ist jedoch keineswegs der einzig mögliche Process, worauf die Bildung des Cambiums nothwendig beruhen müsste. Die Verlängerung kann auch, wie diess neuerdings wirklich beobachtet wurde, dadurch herbeigeführt werden, dass gewisse Zellen ein vorwiegendes selbständiges Längenwachsthum besitzen und, indem sie ihre Enden bei einander vorbeischieben, ein prosenchymatisches Gewebe bilden. Es kommt sogar vor, dass Querwände, welche in prosenchymatischen Zellen auftreten, nach und nach eine immer schiefere Lage annehmen und endlich als Längswände erscheinen (Fig. 253).


Fig. 253.

Der Beobachter hat demnach zu entscheiden, welcher der beiden Vorgänge in einem gegebenen Falle statthabe, oder ob vielleicht beide mehr oder weniger an der fraglichen Differenzirung Antheil nehmen. Wir können hinzufügen, dass diese Entscheidung in der Regel eine sehr schwierige Sache und gerade für den normalen Wachsthumstypus der Gefässpflanzen zum Theil erst von der Zukunft zu erwarten ist.

Zur Zeit ist nur die Ausscheidung der Cambiumbündel im Bildungsgewebe der Stammspitze, sowie der Wurzeln und Blätter, unzweifelhaft festgestellt; man weiss, dass die verlängerten Cambiumzellen durch vorwiegende oder ausschliessliche Längstheilung der parenchymatischen Bildungszellen entstehen, und dass diese Längs-

theilung einige Zeit fortdauert. Wie dagegen die Zellvermehrung im ausgeprägten Cambium älterer Organe stattfinde, erheischt durchaus eine genauere Untersuchung. Man ist zwar gewohnt, die wiederholte Längstheilung der Cambiumzellen stillschweigend vorauszusetzen und hierauf auch die Bildung der radialen Reihen, welche bekanntlich den älteren Verdickungsring charakterisiren, zurückzuführen; allein Niemand hat unseres Wissens eine solche Theilung der Cambiumzellen durch Längswände wirklich beobachtet, in der Art nämlich, dass die Lagerung zweier Tochterzellen, etwa wie in Fig. 254, mit Sicherheit auf ihre Zusammengehörigkeit schliessen liesse. Diese Theilung existirt also im Allgemeinen, streng genommen, nur in der Theorie, und wir dürfen uns nicht verhehlen, dass die wirklich beobachteten Quertheilungen im Cambium und die darauf folgende Zuschärfung der Theilzellen, wobei sich ihre Enden bei einander vorbeischieben, diese Theorie etwas erschüttert haben, so dass sie zum Mindesten einer neuen Stütze bedarf. Jedenfalls ist die Längstheilung, wie bereits erwähnt, nicht der einzige Process, worauf die Vermehrung der Cambiumzellen beruht, und es bleibt zu untersuchen, welche relative Bedeutung daneben der Quertheilung zukommt.


Fig. 254.

528 Nach der Ausscheidung der Cambiumbündel müssen die Wachsthumsvorgänge innerhalb derselben von denjenigen des umgebenden Parenchyms geschieden werden. Wenn auch der Antheil am Dickenwachsthum, welcher auf das Parenchym fällt, in all' den Fällen, wo es sich um perennirende Organe handelt, die zeitlebens an Umfang zunehmen, relativ gering oder selbst verschwindend klein ist, so erscheint er dagegen bei manchen einjährigen Gebilden, namentlich bei fleischigen Axen- und Blattorganen um so bedeutender. Der Beobachter muss sich jedenfalls immer die Frage vorlegen, bis zu welcher Entfernung von der Scheitelregion Theilungen im Parenchym, die als Dickenwachsthum zu deuten sind, vorkommen, und bis zu welcher anderen noch Ausdehnung der Zellen in demselben Sinne stattfinde. Die letztere ergibt sich, wie leicht einzusehen, aus der Vergleichung der mittleren Zellendurchmesser, die erstere aus der Zahl der Zellen zwischen gegebenen Punkten.

Wenn z. B. das Mark einer dicotylen Pflanze unmittelbar nach dem Auftreten der Cambiumbündel 10 Zellen im Durchmesser zählt

und diese Zahl in den folgenden Internodien auf 12, 15 und 18 steigt; wenn dagegen das ältere Mark durchschnittlich aus 20 Zellen im Durchmesser besteht, so bleibt die Theilungsfähigkeit offenbar bis zu der Stelle erhalten, wo diese Durchschnittsziffer erreicht ist. Nimmt von da an der Durchmesser des Markes noch zu, so kann diess nur durch Ausdehnung der Zellen geschehen, die man übrigens auch durch Einzelmessungen leicht nachweisen kann.

Erscheinen die peripherischen Zellen des älteren Markes bei übrigens gleicher Form kleiner als die mittleren, so ist diess ein Beweis, dass die letzteren früher aufgehört haben sich zu theilen. Dasselbe Raisonnement gilt natürlich auch für die Rinde und mutatis mutandis auch für die Parenchymwände zwischen den Gefässbündeln der Monocotyledonen, desgleichen für das Markstrahlenparenchym zwischen den Bastgruppen der Dicotyledonen etc. Es handelt sich immer darum, Zellenausdehnung und Zellentheilung auseinander zu halten und jede der beiden Erscheinungen sowohl mit Rücksicht auf ihre relative Dauer, als auf die Art ihres Erlöschens zu verfolgen.

Die *Wachsthums- und Verholzungsprocesse im Cambium* selbst erfordern ein besonderes Studium. Hier ist zu ermit- 529
teln, wo die ersten Verholzungsproducte: Spiralgefässe, Bastzellen etc. auftreten und in welcher Richtung der Uebergang in Dauergewebe fortschreitet, sowie ferner, wie das letztere in seinen älteren und jüngeren Theilen beschaffen sei und ob es in Folge späterer Wachsthumserscheinungen noch Veränderungen erleide. Die beiden ersteren Punkte können auf successiven Querschnitten, die man durch die Scheitelregion des zu untersuchenden Organs führt, untersucht werden; die beiden letzteren erfordern überdiess die Vergleichung der Längsschnitte.

Welche Verschiedenheiten mit Rücksicht auf die gedachten Punkte vorkommen können, wird am besten aus einigen Beispielen klar werden. In der Stammspitze der Phanerogamen beginnt die Gefässbildung stets auf der Innenseite der Cambiumbündel und schreitet nach aussen in radialer Richtung fort. In den Wurzeln dagegen treten die ersten Gefässe ganz allgemein an der Peripherie auf — in den Wurzeln der Gefässkryptogamen, der Dicotyledonen und mancher Monocotyledonen (sowie auch im Stengel der Lycopodiaceen) am Umfange des centralen Cambiumcylinders, bei dickeren Monocotyledonenwurzeln an der äussern Seite der Cambiumstränge — und die weitere Verholzung geschieht zunächst von aussen nach innen,

nachher, wenn sie andauert, in den zwischen den ursprünglichen Gefässgruppen befindlichen Zwischenräumen von innen nach aussen. In den Stengeln der Farnkräuter, wo die Cambiumbündel kreisförmig gestellt sind, beginnt der Process meistens in zwei tangential neben einander liegenden Randpunkten der einzelnen Bündel und schreitet von da nach innen zu fort.

Aehnliche Verschiedenheiten beobachtet man auch bei der Bastbildung. In den Stämmen der Phanerogamen treten die Bastzellen entweder nur auf der Aussenseite der Cambiumbündel oder an zwei in radialer Richtung opponirten Punkten, also aussen und innen zugleich auf; in den Wurzeln dagegen liegen dieselben im äussern

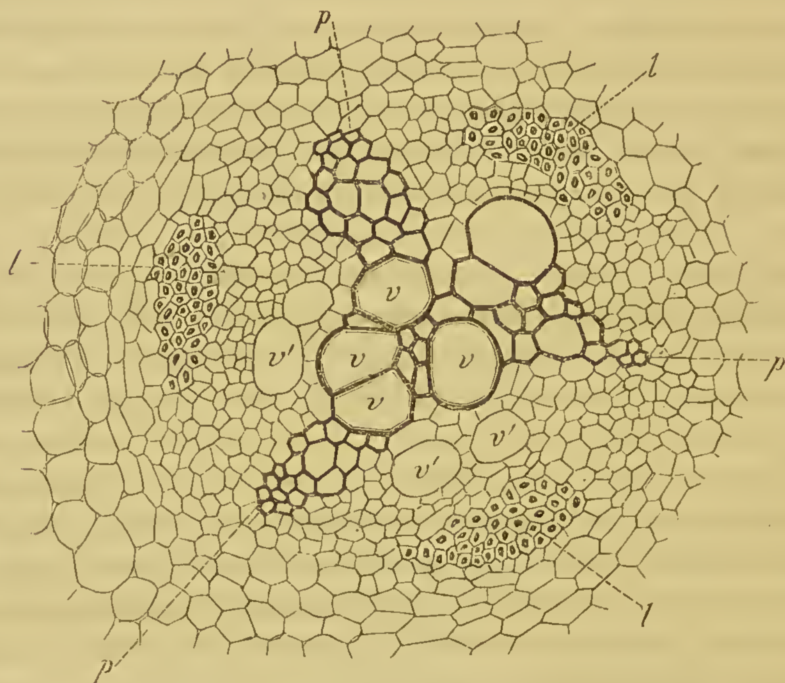


Fig. 255 (150).

Theile der anfänglichen Cambiummassen zwischen den ursprünglichen Gefässgruppen, also tangential neben einander. Sie werden, wenn die Theilung im Cambium fortdauert, von demselben später nach aussen geschoben. Diese Lagerung ist in Fig. 255, welche einen Querschnitt durch die junge Pfahlwurzel von *Lathyrus purpureus* darstellt, veranschaulicht. Die Bildung der Holzelemente hat hier in den drei Punkten *p p p*, wo die Spiralgefässe zu suchen sind, begonnen, ist bis zur Mitte des Cambiumcylinders fortgeschritten und geht bereits wieder nach aussen; die mit *v* bezeichneten grossen Gefässe sind schon vollständig ausgebildet. Ebenso haben

auch die Bastzellen, welche die tangential neben den Spiralgefässsträngen liegenden Bündel *lll* bilden, ihre vollständige Ausbildung erreicht. Innerhalb dieser Bündel befindet sich noch cambiales Gewebe; *v' v'* sind junge Gefässe mit zarten Membranen.

Mit Rücksicht auf die Beschaffenheit des aus dem Cambium entstehenden Dauergewebes (Holz- und Bastkörper, Xylem und Phloem), so kann dasselbe, abgesehen von der Bildung der Holzgefässe und Siebröhren, in drei wesentlich verschiedenen Formen auftreten. Entweder behalten die Zellen den prosenchymatischen Habitus des Cambiums bei (Holz- und Bastzellen); oder es theilen sich die prosenchymatischen Zellen, nachdem die Verdickung ihrer Wandungen bereits begonnen hat, durch Querwände und verwandeln sich in prosenchymatische Zellgruppen (Holz- und Bastparenchym); oder es entsteht aus dem Cambium durch frühzeitige Quertheilung ein wirkliches, dem Mark und der primären Rinde ähnliches Parenchym (Kartoffel, weisse Rübe etc.). — Das markähnliche Aussehen des letztern kann leicht zu voreiligen Deutungen Veranlassung geben, die zu einer wesentlich unrichtigen Auffassung der Dinge führen können. Man beobachtet beispielsweise eine Wurzel, welche im Querschnitt einen Kreis von Gefässbündeln und Holzzellen zeigt, und innerhalb dieses Kreises ein markähnliches, dünnwandig-parenchymatisches Gewebe. Man schliesst daraus ohne Weiteres, dass sich das Cambium, ganz wie bei den Stämmen der Dicotyledonen, in Form eines Ringes ausgeschieden habe*), während doch die genauere Untersuchung herausstellt, dass man es wie gewöhnlich mit einem Cambiumcylinder zu thun hat, dessen centrale Zellen sich aber nicht in Holz und Gefässe, sondern in dünnwandiges Parenchym umwandeln. 530

Ausser diesen Verschiedenheiten, welche sich vorzugsweise auf die Formverhältnisse der Zellen beziehen, hat der Beobachter ferner die ungleichartige Verdickung der Membranen (Poren mit und ohne Höfe, netzartige Verdickung etc.), dann die Natur des Inhalts (Stärke, Luft etc.) und bei Gefässen das Verhalten der ursprünglichen Scheidewände zu berücksichtigen. Es gibt Gefässe, bei denen die Scheidewände siebartig durchlöchert erscheinen, andere, wo dieselben vollständig resorbirt sind; ferner Holzzellen mit behöften Po- 531

*) Schacht, Anat. u. Phys. II. pag. 143.

ren nebst spiraliger Verdickung, andere mit kleinen Poren und verschiedenem Inhalt u. s. w. *)

2. Weitere Veränderungen im Gewebe.

532 Zu den späteren Veränderungen der Gewebe, welche Gegenstand einer besondern Untersuchung sein können, gehören zunächst die Bildung der Thyllen in Gefässen, die Umwandlung von Splint in Kernholz, die Entstehung der luftführenden Kanäle, der Harz- und Gummigänge u. s. w. Es bedarf wohl keiner besondern Erörterung, dass das Studium dieser Veränderungen, wie jeder andern Wachsthumserscheinung, erst dann als abgeschlossen zu betrachten ist, wenn man die verschiedenen Stadien der Ausbildung hinlänglich genau kennt, um sie mit vollkommener Sicherheit als Momente eines bestimmten, allmählich vor sich gehenden Entwicklungsprocesses zu deuten und jede andere Erklärung auszuschliesen.

Wir wollen mit Rücksicht hierauf beispielsweise die Entstehung von Lücken und Gängen im Gewebe etwas ausführlicher erörtern. Dieselbe kann nach den jetzt bekannten Thatsachen in dreifach-verschiedener Weise gedacht werden: durch Auseinanderweichen der Zellen, durch Desorganisation von Zellen und Zellcomplexen und durch Zerreissen der Gewebe.

Das Auseinanderweichen der Zellen wird durch die Ausscheidung von Flüssigkeit oder Luft zwischen denselben veranlasst. Bei der Desorganisation gehen die Zellmembranen in eine zähflüssige, schleimige Beschaffenheit über und vermischen sich zuletzt vollständig mit dem Inhalte. Das Zerreissen ist Folge eines andauernden Wachsthums rings um eine Stelle, in welcher die Ausdehnung aufgehört hat.

Von diesen drei Entstehungsarten verräth sich die letztere meistens schon bei oberflächlicher Untersuchung durch die abgerissenen Membranen, welche in die Höhlung hineinragen; das Erkennen derselben unterliegt also keiner Schwierigkeit. Dagegen sind die beiden übrigen in manchen Fällen schwer von einander zu unterscheiden. So leicht es ist nachzuweisen, dass die Zwischenzellräume und die grössern luftführenden Räume in den Blättern, im Gewebe vieler Wasserpflanzen etc. durch Auseinanderweichen der Zellen entstehen, da hier die verschiedensten Entwicklungsstufen oft neben-

---

*) Vgl. Sanio: Vergleichende Untersuchungen über die Elementarorgane des Holzkörpers. Bot. Ztg. 1863.

einander vorkommen oder doch auf successiven Schnitten zur Genüge vorhanden sind, so schwierig ist es, in diesem Punkte bei manchen Harz- und Gummigängen, welche die erforderlichen Entwicklungsstadien nur selten darbieten, vollständige Sicherheit zu erlangen.

Früher nahm man bekanntlich an, dass Gummi und Harz ursprünglich flüssige Secretionsproducte seien, welche in eigenen, durch Auseinanderweichen der Zellen gebildeten Gängen sich anhäufen. Genauere Beobachtungen stellten jedoch bald heraus, dass diese Annahme in einzelnen Fällen mit den thatsächlichen Verhältnissen im Widerspruch steht. Das Traganthgummi erwies sich sogar im käuflichen Zustande als ein rundzelliges Gewebe mit gallertartigen, deutlich geschichteten Wandungen und Stärke-führenden Lumina, und ein gleiches Verhalten beobachtete Wigand*) neuerdings auch beim Bassorin (Gummi Bassora, Gummi Kutera). Eines weitern Beweises, dass diese beiden Gummiarten als umgewandelte Gewebe zu betrachten sind, bedarf es natürlich nicht.

Für das Kirschgummi und einige andere Gummiarten und Gummiharze gelangte Wigand zu demselben Ergebniss durch seine anatomischen und entwicklungsgeschichtlichen Untersuchungen an Gummiführenden Geweben. Bald sind es die in der Gummimasse vorkommenden Einschlüsse (z. B. Stärkekörner), welche mit der Annahme einer Secretion im Widerspruch stehen, da nicht einzusehen wäre, wie dieselben in eine ausgeschiedene Substanz hineinkommen; bald deutet die Natur des Gewebes in der Umgebung des Gummiganges, insbesondere der nächstliegenden Membranen, auf eine stattgefundene oder noch stattfindende Desorganisation. Zuweilen geht auch schon aus der Anordnung der Zellen, welche solche Gänge umschliessen, z. B. aus dem geraden Verlaufe der Zellreihen u. dgl. ganz deutlich hervor, dass ein Auseinanderweichen derselben nicht stattgefunden hat, so dass also nur eine Verflüssigung oder Umwandlung von Zellwandungen oder von ganzen Zellcomplexen angenommen werden kann.

Ob alle Gummigänge, sowie ferner die Harzgänge der Coniferen in der angegebenen Weise entstehen, bleibt dessenungeachtet näher zu untersuchen. Man begegnet namentlich bei den Harzgängen hin und wieder Verhältnissen, welche für sich allein mehr dagegen als dafür sprechen, und es ist nicht unmöglich, dass weitere Beobachtungen über diesen Punkt zu verschiedenen Typen führen.

---

*) Pringsheim's Jahrb. für wiss. Bot. III. 1. 1861.

533 Als Veränderungen eigener Art, welchen bestimmte Theilungsvorgänge vorausgehen, können ferner die Entstehung der Spaltöffnungen und die Periderm- und Borkenbildung erwähnt werden.

Die Spaltöffnungen bilden sich bekanntlich zwischen zwei eigenthümlich gestalteten Zellen der oberflächlichen Schicht, den sogenannten Spaltöffnungszellen oder Schliesszellen; es sind Lücken, welche gleich den Zwischenzellräumen im Gewebe durch Auseinanderweichen der Zellen entstehen. Die Schliesszellen sind jedoch nicht gleichwerthig mit den gewöhnlichen Epidermiszellen, sondern es sind Zellen einer jüngern Generation, wobei die Bildung der Spaltöffnung zuweilen durch einen regelmässigen Theilungsprocess eingeleitet wird. Eine jugendliche Epidermiszelle (*abcd*) theilt sich z. B. in der in Fig. 256 dargestellten Weise, und erst die innersten Tochterzellen entwickeln sich in der Folge zu Schliesszellen.

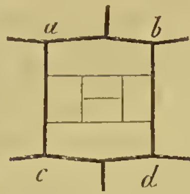


Fig. 256.

Die Art, wie diese Theilungen erfolgen, dann die Formveränderungen und Verschiebungen, welche später eintreten und wodurch die Spaltöffnungszellen zuweilen über die Epidermis emporgehoben, manchmal auch in das Gewebe vertieft werden, bieten natürlich mancherlei Verschiedenheiten, welche der Beobachter theils auf Flächenansichten, theils auf senkrecht zur Fläche geführten Durchschnitten zu ermitteln hat.

Bei der Peridermbildung, wo die Verschiedenartigkeit der Theilungsvorgänge noch weit grösser ist, sind zunächt die hierauf bezüglichen Fragen zu beantworten. Beginnt die Theilung in der Epidermis, wie bei manchen Cacteen, oder in der äussersten Schicht der primären Rinde, also unmittelbar unter der Epidermis, wie bei der Eiche, Buche, Birke etc., oder in einer tiefer liegenden Rindenschicht und in welcher? Wie schreitet die Theilung in den ursprünglichen Mutterzellen fort — von aussen nach innen, oder von innen nach aussen, oder viellcicht gleichmässig in allen Theilzellen? Wie gross ist die Theilungsfähigkeit der Mutterzelle, d. h. wie viele Theilzellen bilden sich durchschnittlich in jeder derselben? Wiederholt sich die Peridermbildung, nachdem das Theilungsvermögen in der ersten Zellschicht erloschen ist, in der unmittelbar darauf folgenden (ausdauerndes Periderm), oder aber tiefer im Innern der Rinde, so dass im letzteren Falle die aufeinander folgenden Peridermzonen durch mehrere Rindenzellschichten getrennt sind (Borkenbildung)? Stehen diese getrennten Peridermzonen, wenn man sie im ganzen

Umfang des Organs beobachtet, unter sich durch Anastomosen in Verbindung (Schuppenborke), oder bilden sie vollständig getrennte concentrische Ringe (Ringelborke)?

In zweiter Linie ist die Umwandlung der Cellulosemembranen in Korksubstanz und das Verhalten des durch Peridermzonen abgeschnittenen Gewebes (Epidermis, Borke) zu beobachten. Die Verkorkung schreitet, soweit die Beobachtungen reichen, stets von aussen nach innen fort; da indess Abweichungen von dieser Regel nicht unmöglich sind, so verdient die Sache immerhin eine genauere Prüfung. Es kann auch der Fall eintreten, dass die stärker verdickten Stellen der Zellwandung nur unvollständig oder auch gar nicht verkorken. Ebenso können in der absterbenden Borke Veränderungen stattfinden, welche Beachtung verdienen.

IV.

Bildung seitlicher Organe.

Die Verzweigung von Zellreihen als Wachsthums- und Thei- 534
lungsvorgang wurde schon im Vorhergehenden mehrfach erwähnt, da es uns zweckmässig erschien, gewisse Zellcomplexe auf Systeme von Zellfäden zurückzuführen, die sich nach bestimmten Gesetzen verästeln. Wir hielten es jedoch nicht für gerathen, auf die verschiedenen Arten der Verästlung schon bei der Gewebebildung genauer einzugehen, da wir damit doch nur einen speciellen Fall aus einer Reihe analoger Erscheinungen herausgegriffen hätten. Als analog müssen nämlich alle Wachsthumsvorgänge betrachtet werden, durch welche an beliebigen Organen seitliche von gleicher oder ungleicher Art erzeugt werden; denn wie die bisher betrachteten Processe die Massenentwicklung der verschiedenen Glieder des Pflanzenstockes bedingen, wie sie jedes Organ, einmal angelegt, in die Länge und Dicke weiter bauen, so bedingt die Bildung neuer Organe jene mannigfaltigen Combinationen von Haupt- und Nebenbauten, wie sie uns bei den meisten Pflanzen entgegen treten, oder wie man sich gewöhnlich auszudrücken pflegt: sie bedingt die A r c h i t e c t o n i k des Pflanzenstockes.

Wir stellen daher die Bildung seitlicher Organe bei höheren und niederen Pflanzen zusammen, indem wir die für die Entwicklungsgeschichte wichtigen Fragen, die im Wesentlichen immer dieselben

sind, den verschiedenen im Vorhergehenden besprochenen Stufen entsprechend formuliren und so Stufe für Stufe fortschreitend die Punkte hervorheben, auf die es gerade ankommt.

1. Morphologischer Ort der Entstehung.

535 Die erste Frage, welche sich uns aufdrängt, ist die: wo oder woraus entsteht das neue Organ? Bei einzelligen Pflanzen, wo alle Theile nur Ausstülpungen der einen Zelle bilden, ist natürlich eine genauere Bestimmung der Verzweigungsstellen nicht wohl möglich, man müsste denn vergleichbare Anhaltspunkte finden, um die verschiedenen Alterszonen der Zellmembran zu unterscheiden, was bis jetzt nicht gelungen ist. Alles, was hier zu ermitteln übrig bleibt, bezieht sich auf Punkte, die im Bereiche der drei folgenden Fragen liegen. Dagegen bieten die gegliederten Zellfäden, wo die Verzweigung mit Scheidewandbildung verbunden ist, schon eine ziemliche Zahl denkbarer Fälle, die in der Natur auch wirklich vertreten sind.

Zunächst ist hier zu untersuchen, ob die Verzweigung von der Scheitelzelle oder von einer Gliederzelle ausgehe. Hienach ordnen sich die sämmtlichen Verzweigungen in zwei grosse Kategorien. Die Verzweigung der Scheitelzelle kann selbst wieder in sehr ver-

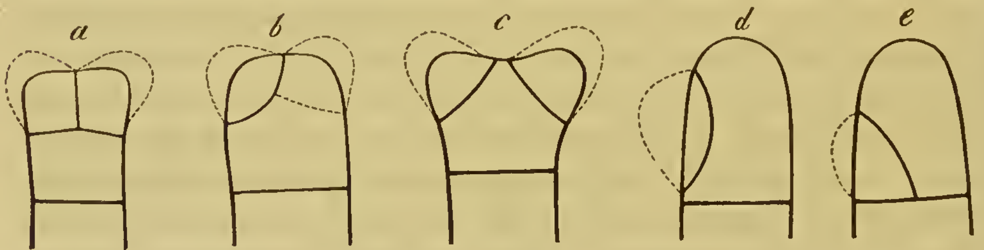


Fig. 257.

schiedener Weise eingeleitet werden, wie man sogleich aus den in Fig. 257 dargestellten Theilungen ersieht, und es ist nicht immer leicht zu entscheiden, ob ein bestimmter Fall als wahre Dichotomie oder als Astbildung zu deuten sei. Eine vollkommene Gleichwerthigkeit der beiden Tochterscheitelzellen besteht nämlich streng genommen nur in Fig. 257 *a*. In Fig. 257 *c* kann die eine Wand vor der andern auftreten; sie kann möglicher Weise auch etwas weiter nach unten rücken, so dass die nachfolgende zweite Wand mit ihrem oberen Rand sich an dieselbe ansetzt. Die Fig. 257 *c* stimmt alsdann im Wesentlichen mit Fig. 257 *b* überein. Ebenso lässt sich denken, dass

die excentrische und nach innen convexe Wand in Fig. 257 *d* dem Centrum etwas näher rücke und in Folge dessen die Querwand berühre, womit ein Uebergang zu Fig. 257 *a* wenigstens angedeutet wäre. Man sieht, dass sich eine scharfe Grenze zwischen Dichotomie und Verästlung, oder wie man sonst die Unterschiede bezeichnen könnte, mit Rücksicht auf den Theilungsmodus der Scheitelzelle kaum ein für allemal ziehen lässt. Die Untersuchung muss daher immer zunächst feststellen, ob die Verzweigung des Scheitels constant in derselben Weise erfolge oder ob am nämlichen Individuum oder an Individuen derselben Species abwechselnd der eine und andere Typus zur Geltung komme.

Geht die Zweigbildung von den Gliederzellen aus, so ist oft noch eine nähere Bezeichnung derselben nothwendig. Bei den Charen theilt sich z. B., wie bereits erwähnt, jede von der Scheitelzelle abgeschnittene Gliederzelle in zwei, wovon nur die obere Zweige bildet. Ein ähnliches Verhältniss beobachtet man auch bei Cladostephus. Bei Polysiphonia ist jedes Glied ohne Ausnahme verzweigungsfähig, bei den Callithamnieen oft nur je das 2te, 4te u. s. f. Dieselbe Gesetzmässigkeit herrscht auch bei der Blattbildung der Moose, indem jede von der Scheitelzelle abgeschnittene Segmentzelle ein Blatt anlegt. — In der Regel wird man auch die Wahrnehmung machen, dass Abzweigungen, welche die Function von Wurzeln verrichten, desgleichen die Berindungsfasern (bei Florideen etc.) vorzugsweise vom unteren Theil der Mutterzelle abgehen, während die gewöhnlichen Zweige fast immer am oberen Ende derselben ihren Ursprung nehmen. Jedenfalls ist zu untersuchen, ob solche Verschiedenheiten, wenn sie überhaupt vorkommen, einem bestimmten Gesetze unterliegen oder nicht.

Bei einfacher gebauten Zellflächen und Zellkörpern sind es über- 536
haupt nicht selten morphologisch genau zu bestimmende Zellen, aus denen die neuen Organe hervorgehen, — bei den erstern gewisse Rand- oder Flächenzellen, bei den letztern gewisse Aussen- oder Innenzellen. Zuweilen geht in der betreffenden Zelle ein bestimmter Theilungsprocess voraus, welcher erst die Zelle liefert, die als die Anlage der seitlichen Organe zu betrachten ist.

Eine ähnliche Gesetzmässigkeit herrscht auch bei den complicirter gebauten Pflanzen; allein da der Aufbau sich hier nicht mehr Zelle für Zelle ermitteln lässt, so kann es sich folgerichtig nur noch um die Frage handeln, welchen Zellcomplexen, Zellschichten oder

Partieen des Gewebes die neuen Organe ihre Entstehung verdanken, wobei natürlich vorausgesetzt ist, dass die Anatomie und die Wachsthumsweise des Mutterorgans bereits bekannt sei. Vor Allem wichtig ist die Unterscheidung zwischen oberflächlichen und bedeckten Geweben oder, was auf dasselbe herauskommt, die Unterscheidung zwischen Organen, die an der Oberfläche entstehen und solchen, die aus dem Innern hervorbrechen. Die genauere Bezeichnung der Bildungsstätte kommt erst in zweiter Linie in Betracht.

Für die Phanerogamen und Gefässkryptogamen, die wir hier als die bekanntesten Beispiele vorausschicken, darf man vor der Hand als festgestellt betrachten, dass nur folgende verschiedene Gewebe seitliche Organe bilden können: 1) die Epidermis, 2) das oberflächliche Bildungsgewebe (der Stammspitze, des jungen Blattes etc.), 3) das bedeckte Bildungsgewebe der Wurzelspitze, 4) das Cambium und die das Cambium umschliessende Parenchymschicht. Es bleibt also nur noch zu untersuchen, welches von diesen Geweben in einem gegebenen Falle den Ausgangspunkt bilde.

Als Organe, welche von der Epidermis ausgehen, sind die Trichomgebilde (Haare, Stacheln, Schuppen etc.); als solche, welche im Bildungsgewebe der Stammspitze (vor dem Auftreten der Epidermis) ihren Ursprung haben, die Blätter mit ihrem Axillargebilden und die Gabelzweige; als Producte des bedeckten Wurzelscheitels die durch Gabelung entstehenden Wurzeläste, endlich als Producte des Cambiums und der angrenzenden Parenchymzellen die Wurzeln und Adventiväste zu erwähnen.*)

Was die Verzweigung und Lappenbildung der Blätter betrifft, so wäre zu untersuchen, ob die Anlage seitlicher Theile constant nur an solchen Stellen stattfinde, resp. deutlich werde, wo eine Epidermis noch nicht vorhanden ist. Wie die Epidermisbildung selbst und mit ihr die Differenzirung der Gewebe am primären Blattstrahl fortschreitet, ist eine Frage, welche nicht hieher gehört, sondern mit der Wachsthumsgeschichte dieses Strahls zusammenhängt. Es ist bekannt, dass die Blattbasis in vielen Fällen noch aus einem durch und durch gleichförmigen Bildungsgewebe besteht, wenn die Blattspitze die ersten Stadien der Differenzirung schon zurückgelegt hat. Daher

*) Ob die Pfahlwurzel der Dikotyledonen durch unmittelbare Verlängerung der Keimachse des Embryo entstehe, wie gewöhnlich angegeben wird, und also im Gegensatz zu den übrigen Wurzeln an der Oberfläche eines Bildungsgewebes angelegt werde, ist zum Mindesten zweifelhaft und für einzelne Fälle sicher unrichtig.

lässt sich denn auch von vorne herein erwarten, dass auch am unteren Theil des Blattes, ähnlich wie in der Stammspitze, neue seitliche Organe zum Vorschein kommen.

Die Anwendung der im Vorhergehenden entwickelten Principien auf Moose, Lebermoose und die niedern Kryptogamen bietet keinerlei Schwierigkeiten. Es handelt sich immer um die Frage: Wird das neue Organ vor oder nach der Differenzirung des Gewebes angelegt und wenn nachher, in welchem Theile entsteht die neue Anlage? So findet man z. B., dass die Apotheecienanlage im Flechtenthallus unterhalb der Rinde in der Gonidienzone entsteht und später die Rinde durchbricht, während die Adventivzweige der strauchartigen Flechten von der Rinde abgehen.

Da es a priori unwahrscheinlich ist, dass morphologisch gleichwerthige Organe in ungleichartigen Geweben gebildet werden, so ist in Fällen, wo man diess zu sehen glaubt, immer die grösste Vorsicht zu empfehlen.

2. Morphologische Unterscheidung der Organe.

Die seitlichen Organe, welche an ihren respectiven Mutterorga- 537
nen auftreten, zeigen in morphologischer Hinsicht, wenn man das ganze Gewächsreich vergleichend überblickt, mancherlei Unterschiede. Je höher eine Pflanze steht, d. h je complicirter der Bau ihrer Organe, um so reicher ist gewöhnlich auch die architectonische Gliederung, um so grösser die Zahl der Abstufungen, welche in den seitlichen Organen sich kundgeben.

Bei den einfachsten Pflanzen, welche seitliche Organe erzeugen, sind diese letztern blosse Wiederholungen des Mutterorgans und mit demselben morphologisch gleichwerthig, so z. B. bei den Rivularieen, Scytonemeen etc. Solche Pflanzen gehören mit den unverzweigten Diatomeen, Palmellaceen etc., ferner mit den Nostocheen in dieselbe grosse Kategorie: es sind P h y t o m e.

Dagegen begegnen wir schon bei manchen einzelligen Algen (Botrydium, Caulerpa u. a.), dann bei den meisten Fadenalgen (Conferven u. a.) einem deutlichen morphologischen Gegensatz zwischen dem verzweigten oder unverzweigten Hauptkörper der Pflanzen und jenen haarähnlichen seitlichen Gebilden, welche bei Botrydium und Rhizoclonium die Wurzelhaare, bei andern die Berindungsfasern etc. darstellen; wir haben also hier eine zweite Kategorie von Gewächsen: T h a l l o m e mit T r i c h o m e n.

Auf der nämlichen Stufe steht die Gliederung des Pflanzen-

stockes auch bei den höhern Algen, den sämmtlichen Fucoideen und Florideen, sowie ferner bei Flechten und Pilzen. Nur begegnen wir hier einer grössern Mannigfaltigkeit der Formen. Das Thallom ist bekanntlich bald krustenartig oder blattartig und dann einblätterig oder zierlich gelappt, bald strauchartig und dann mehr oder weniger verzweigt; die Trichome stehen bald einzeln bald zu besondern Büscheln vereinigt; bald sind sie ferner frei, bald auch zu einem förmlichen Gewebe oder zu grössern Haftorganen verflochten oder verwachsen.

Erst bei den Lebermoosen und Laubmoosen differenzirt sich das Thallom in Stamm und Blatt, welche beide wieder Trichome bilden können, und von den Gefässkryptogamen an aufwärts erzeugt der Stamm noch ein weiteres Organ, die Wurzel. — Die am höchsten organisirten Pflanzen besitzen also vier wesentlich verschiedene Organe: Stamm, Blatt, Wurzel und Trichom, von denen natürlich jedes wieder mancherlei Abstufungen der Entwicklungsfähigkeit und überdiess zahllose Formverschiedenheiten darbietet.

538 Die richtige Unterscheidung dieser Organe, so leicht sie bei vielen Pflanzen erscheinen mag, ist in andern Fällen eine sehr schwierige Aufgabe und erfordert alsdann die Berücksichtigung aller Verhältnisse. Wir beschränken uns hierüber auf folgende Andeutungen.

Bei den Thallompflanzen sind zunächst die Trichome, welche als Wurzelhaare auftreten, jedenfalls immer als solche zu erkennen; bei denjenigen, deren Thallome Zellkörper sind, ist ferner ganz allgemein eine Verwechslung mit andern Gebilden nicht möglich, weil die Trichome hier durch die Entstehung aus den Epidermiszellen scharf charakterisirt sind. An diesem Merkmal erkennt man z. B. die Faserbüschel von Fucus und vieler andern Algen, desgleichen die Paraphysen und die Fäden, an denen die Sporen und Antheridien entstehen, als Trichome; auch die Berindungsfäden der Florideen und Fucoideen, dann von Batrachospermum u. a. gehören meistens hieher. Dagegen lässt sich die Frage, ob manche Verzweigungen von einzelligen oder gegliederten Fadenpflanzen (Siphoneen, Confervaceen, Callithamnieen, Schimmelpilzen etc.) als begrenzte Thallomzweige oder als Trichome aufzufassen seien, bloss durch Analogie mit einiger Wahrscheinlichkeit entscheiden.

Auch bei den beblätterten Pflanzen (Moosen und Gefässpflanzen) sind die Trichome (Haare, Borsten, Stacheln, Warzen, Schülfern) ohne Ausnahme Bildungen der Epidermiszellen. Sie ent-

stehen zwar schon an den jüngsten Partieen der Stengel, Blätter und Wurzeln, aber doch erst in derjenigen Entfernung vom Scheitel, wo die Epidermis bereits angelegt, das peripherische Dickenwachsthum also vollendet ist. In dieser Entstehungsweise liegt, da keines der drei andern Organe auf die nämliche Art angelegt wird, das wesentlichste Merkmal. Damit stehen denn auch die Stellungsverhältnisse der Trichome in einem gewissen Zusammenhang, indem denselben eine regelmässige Stellung in der Art, dass sie sich in eine oder in mehrere gerade oder schraubenförmige Reihen anordnen liessen, wobei je das oberste das jüngste wäre, nicht zukommt.

Die praktische Erkennung der Organe hängt also von der Entscheidung ab, ob an der Bildungsstätte derselben die Epidermis bereits vorhanden sei. Diess ist dann der Fall, wenn in den Aussenzellen keine Theilungen durch tangentiale (mit der Oberfläche parallele) Wände mehr stattfinden, ein Stadium, welches bei manchen Organen schon sehr früh eintritt. Demgemäss sind die Spreuschuppen der Filices und andere haar- und schuppenförmige Bildungen mit übereinstimmender Entwicklungsweise unzweifelhafte Trichome.*)

Die Blätter werden im Gegensatze zu den Trichomen an der Stengelspitze angelegt, ehe das peripherische Dickenwachsthum vollendet, somit ehe die Epidermis vorhanden ist. Bei den einfachern der hieher gehörigen Pflanzen (namentlich bei den Moosen), wo man das Blatt bis auf die erste Zelle zurückverfolgen kann, lässt sich sogar der Ursprung aus den Segmentzellen, d. h. aus den durch die Theilungen der Scheitelzelle abgeschnittenen Zellen nachweisen. Damit hängt denn auch die regelmässige Anordnung der Blätter in Spiralen oder Quirle**) zusammen, womit ein weiterer Unterschied gegenüber den Trichomen gegeben ist.

*) Hofmeister (Beiträge zur Kenntniss der Gefässcryptogamen II p. 616) sagt zwar das Gegentheil: »Der Nägeli'schen Difinition von Blattorganen und Haargebilden nach würden sie (die Spreublättchen) unzweifelhaft zu den erstern (in Folge eines Druckfehlers steht letztern) gehören, wie ich früher auch angenommen.« Es ist allerdings richtig, dass das Dickenwachsthum noch lange nicht vollendet ist, wenn die fraglichen Gebilde angelegt werden, denn die intercalaren Theilungen dauern noch einige Zeit fort. Allein das peripherische Dickenwachsthum, worauf es ankommt, und damit auch die Anlegung der Epidermis ist schon früher beendigt.

**) Nach so eben gemachten, noch nicht veröffentlichten Untersuchungen des Herrn Stud. Rees entstehen bei Equisetum aus jedem Segment mehrere Blätter, und die Quirlstellung der Blätter wird dadurch erzeugt, dass je drei Segmente (d. h. je ein Cyclus derselben) durch ungleiches Wachsthum sich soweit verschieben, dass sie in gleiche Höhe zu liegen kommen und einen Quirl bilden.

539 Schwieriger ist der Unterschied zwischen Stamm und Blatt festzustellen. Auf mikroskopischem Wege gelingt es wohl gar nicht. Denn sowohl Bau als Wachsthum bieten keinerlei durchgreifende Merkmale, und die Entstehungsweise der Axillarknospen und der Verzweigungen bei den Gefässkryptogamen ist noch zu wenig bekannt, als dass sie mit der Blattbildung verglichen werden könnte. Man ist daher auf morphologische Methoden angewiesen, deren Auseinandersetzung jedoch nicht hieher gehört.

Die anatomische Structur der Organe kann ganz allgemein nicht zur Unterscheidung von Stamm-, Blatt- und Trichomgebilden benutzt werden. Denn wie es einerseits Blätter giebt, die in der Beschaffenheit der Gewebe und namentlich auch in der Gruppirung der Gefässbündel (kreisförmig, die Spiralgefässe nach innen gekehrt) mit den Stammorganen übereinstimmen, so findet man andererseits auch verkümmerte Blattgebilde, die genau so gebaut sind, wie Stacheln, Warzen, Schülfern, selbst wie Haare. Nur in einer Beziehung verdient der innere Bau Berücksichtigung, insofern nämlich die Trichome nie Gefässbündel besitzen. Es ist diess eine nothwendige Folge ihrer Entstehung aus der Epidermis.

Die Wurzeln unterscheiden sich von allen andern Organen dadurch, dass der zellenbildende Scheitel von einem Dauergewebe, der Wurzelhaube, bedeckt und umhüllt ist. Dieses Merkmal zeigt uns z. B., dass *Psilotum* keine Wurzeln besitzt und dass seine sogenannten Wurzeln unterirdische Stengel sind, was auch dadurch bewiesen wird, dass sie verkümmerte, nicht über die Oberfläche hervortretende Blattanlagen besitzen, die unter dem Mikroskop an der Anordnung der Zellen erkannt werden.

Die Wurzeln entstehen im Innern des Gewebes und durchbrechen daher dessen oberflächliche Schichten; dadurch unterscheiden sie sich genetisch von den Blättern und von den Trichomen. Ferner geht die Gefässbildung bei allen Wurzeln anfänglich von aussen nach innen, so dass die später gebildeten porösen und Treppengefässe innerhalb der Ring- und Spiralgefässe zu liegen kommen; dadurch unterscheiden sie sich anatomisch von allen Stengeltheilen der Phanerogamen. Wo der Stengel nach unten in eine Pfahlwurzel übergeht, lässt sich sogar die Grenze zwischen beiden mit der grössten Genauigkeit bestimmen. Endlich bilden die Wurzeln keine Blätter, die dem Stengel wohl immer, wenigstens der Anlage nach, zukommen.

3. Entwicklungsfolge und Stellungsverhältnisse.

Eine dritte Frage, welche bei der Bildung seitlicher Organe in 540
Betracht kommt, betrifft die Entwicklungsfolge und die damit zusammenhängenden Stellungsverhältnisse. Sie ist jedoch selbstverständlich nur auf Organe von gleicher Natur, z. B. auf die successiven Blätter oder auf die Wurzeln zu beziehen. Es kommt hier namentlich darauf an, zu untersuchen, ob die neuen Organe in ganz beliebiger Folge und Stellung zwischen bereits vorhandenen auftreten, oder ob mit Rücksicht hierauf ein gewisser, in jedem gegebenen Falle näher zu bestimmender Grad von Regelmässigkeit obwalte. Die Abstufungen, welche hiebei unterschieden werden können, sind etwa folgende.

a) Die Organe entstehen regellos über, unter und neben den schon vorhandenen in ganz beliebiger Stellung, wie man es beispielsweise an Haaren, an manchen Wurzeln und an Adventivknospen beobachtet.

b) Die Organe entstehen in Längsreihen. Für die neu hinzukommenden Glieder einer Reihe bestehen alsdann noch zwei Möglichkeiten: sie werden entweder regellos über und zwischen den schon vorhandenen angelegt, oder sie setzen die Reihe derselben nach einer Seite (oder auch nach beiden Seiten) hin fort. — Hieher gehörige Fälle beobachtet man namentlich da, wo die Organ-bildenden Gewebe selbst eine bestimmte Anordnung zeigen. So stehen z. B. die Wurzeln nicht selten in deutlichen Reihen, weil sie sich nach gewissen Gefässgruppen, Cambiumbündeln oder Parenchymzellenreihen richten, welche im Mutterorgane der Länge nach verlaufen. Auch begegnet man in vielen Fällen, insbesondere bei Gefässkryptogamen und Monokotyledonen, einer regelmässigen Entwicklung in der Art, dass die jüngsten Wurzelanlagen in jeder Reihe immer zunächst der Scheitelregion gefunden werden. Mit der Reihenbildung selbst steht jedoch selbstverständlich diese Gesetzmässigkeit in keinem Zusammenhang.

c) Die Organe entstehen in Quirlen d. h. sie bilden Querreihen auf der eben gelegten Oberfläche des Mutterorgans. In diesem Falle ist darauf zu achten, ob die einzelnen Glieder eines Quirls gleichzeitig hervortreten oder ob sie nach einander in einer gewissen Reihenfolge zum Vorschein kommen. Ueberdiess ist die Beziehung der successiven Quirle zu einander ins Auge zu fassen.

Als Beispiel sei hier die Verzweigung der Charen erwähnt. Die zweigbildende Zelle ist sowohl bei den Stämmchen als bei den Quirl-

zweigen die obere Theilzelle einer ursprünglichen Gliederzelle. Bei den Stämmchen theilt sich dieselbe zunächst durch eine mediane Längswand in zwei gleichwerthige Tochterzellen, von denen in der Folge jede in eine Innenzelle und mehrere Aussenzellen zerfällt (Fig. 258 *A*); die letztern sind die Anlagen der seitlichen Organe. Die

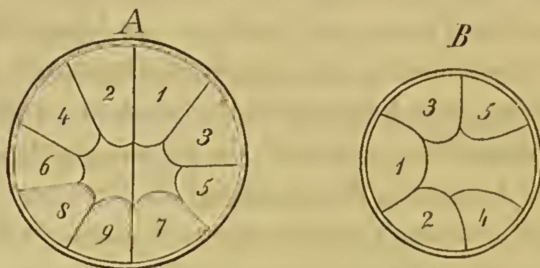


Fig. 258 (250).

Quirlzweige verhalten sich ähnlich, nur fehlt hier den Knotenzellen die mediane Längswand. Die erste Theilung geschieht hier durch eine excentrische Wand, an welche sich die folgenden nach beiden Seiten hin anschliessen (Fig. 258 *B*). Die Reihenfolge der Scheidewände ist in den Figuren durch die den Zellen beigesetzten Ziffern bezeichnet; die Anlage beginnt hienach mit der Zelle 1 und schreitet nach rechts und links bis zur gegenüberliegenden Seite fort. In derselben Reihenfolge treten auch die von diesen Zellen gebildeten Zweige auf. Zwischen den successiven Quirlen besteht das Verhältniss, dass der erste Zweig eines folgenden Knotens um einen bestimmten Theil des Kreisumfanges vom ersten des vorhergehenden absteht, so dass alle ersten Zweige zusammengenommen meistens eine fortlaufende Spirale bilden.

d) Die Organe entstehen in einer fortlaufenden Spirale oder in einer Zickzacklinie, jedes neu hinzukommende über dem vorhergehenden und in horizontaler Richtung um eine bestimmte, meist immer gleiche Grösse von diesem wie vom nächstfolgenden entfernt. — Dieser Fall ist von den vorhergehenden dadurch ausgezeichnet, dass hier sämmtliche Organe nur ein System bilden, in welchem die Stellungsverhältnisse nach allen Richtungen gesetzmässig sind. Zwischen Spirale und Zickzacklinie bildet die alternirend zweizeilige Stellung den Uebergang. — Beispiele für diese Entwicklungsfolgen liefert die Blattbildung bei den Moosen und vielen Gefässpflanzen.

Die Stellungsverhältnisse der ausgebildeten Organe sind natürlich von den eben besprochenen der Anlagen mehr oder weniger abhängig, jedoch selten in dem Grade, dass zwischen dem jugendlichen und dem ausgebildeten Stadium eine vollständige Uebereinstimmung bestände. Es kommen im Gegentheil sehr häufig Verschiebungen vor, wodurch die ursprüngliche Stellung wesentliche Veränderungen erfährt, indem z. B. Blattdivergenzen vergrössert oder verkleinert, Spiralen in scheinbare Quirle übergeführt werden u. dgl. 541

Mit Rücksicht auf diese Veränderungen während der Ausbildung der Organe müssen bei allen Gefässpflanzen drei Zustände unterschieden werden, von denen meist nur zwei der Beobachtung zugänglich sind, nämlich a) die ursprüngliche Anlage, d. h. die Bildung der ersten Zellen, aus welchen ein seitliches Organ entsteht, b) das erste Sichtbarwerden des seitlichen Organs als Zellgewebshöcker, c) die Stellung im entwickelten Zustande.

Von diesen drei Zuständen ist der erste bis jetzt bloss in einigen wenigen Fällen thatsächlich beobachtet, so z. B. bei einigen Gefässkryptogamen die Anlegung der Seitenwurzeln in den Mutterwurzeln und die Entstehung der Blätter aus den (von der Scheitelzelle abgeschnittenen) Segmentzellen des Stengels. Gewöhnlich erkennt man die seitlichen Organe erst, wenn sie als vielzellige Complexe (Höcker, Wülste etc.) an der Oberfläche hervortreten oder im Innern des Gewebes sich abgrenzen, und da möglicherweise bis zur Erreichung dieses zweites Zustandes bereits Verschiebungen stattgefunden haben, so ist es nicht erlaubt, die Stellung der Höcker mit derjenigen der ursprünglichen Anlagen zu identificiren. Dass solche Verschiebungen in der That vorkommen, beweist das Beispiel von Equisetum, wo die ursprünglichen Zellen in einer Schraubenlinie stehen, die Höcker aber als Quirle sichtbar werden. Das Nämliche ist wahrscheinlich bei sehr vielen Quirlbildungen der Fall. Dass dieselben ursprünglich ebenfalls als Spiralen angelegt werden, dafür spricht ausser andern morphologischen Gründen namentlich auch der Umstand, dass sie, wie bei Equisetum, sich ausnahmsweise in Spiralen auflösen, d. h. dass die ursprüngliche Schraubenstellung nicht in die quirlförmige Anordnung übergeht.

Von dem Zustande des ersten Sichtbarwerdens bis zur vollständigen Ausbildung der seitlichen Organe können ebenfalls noch Stellungsveränderungen vor sich gehen und zwar

a) durch ungleiches Auseinanderweichen in der Längsrich-

tung, sei es, dass die einen Internodien sich stärker entwickeln als die andern, was ungleiche verticale Abstände der Blätter und Zweige zur Folge hat, oder dass die seitlichen Organe theilweise mit dem Mutterorgan verwachsen und dadurch höher zu stehen kommen als andere, die neben oder über ihnen angelegt werden, wodurch eine unregelmässige Aufeinanderfolge der Blätter und Zweige zu Stande kommt.

b) Durch ungleiches Auseinanderweichen in der Querrichtung, indem entweder die eine Seite des Mutterorgans sich stärker entwickelt, so dass die seitlichen Organe auf der gegenüber liegenden Seite zusammengedrängt erscheinen, oder indem das Mutterorgan sich dreht und dadurch Veränderungen in den Divergenzen hervorruft, wobei die letztern bald grösser und bald kleiner werden.

542 Noch ist bezüglich der Stellungsverhältnisse seitlicher Organe ein wichtiger Punkt ins Auge zu fassen, der nämlich, dass sehr häufig ein grösserer oder kleinerer Basaltheil eines seitlichen Organs mit dem Mutterorgan verwachsen bleibt und eine sehr wesentliche Partie desselben constituirt. So besteht z. B. im Stamme von *Equisetum*, *Struthiopteris* und vieler anderer Pflanzen der grösste Theil des Gewebes aus verwachsenen Blattbasen.

Verzweigt sich nun ein solches Organ schon am Grunde, so gewährt diess den Anschein, als ob das Mutterorgan eben soviele selbständige seitliche trage, als Verzweigungen vorhanden sind. Auf diese Weise erklärt sich z. B., dass viele Stipulae scheinbar nicht am Grunde des Blattes, sondern am Stengel befestigt sind. Dieser Umstand kann indess nur dann möglicherweise irre führen, wenn die seitlichen Verzweigungen des Tochterorgans sich ganz so ausbilden, wie der mittlere Theil desselben, was bei den Nebenblättern in der Regel nicht der Fall ist. Eine Ausnahme macht *Galium* und die verwandten Gattungen.

Von besonderer Wichtigkeit sind die hier angeregten Punkte bei Untersuchungen über den Bau der Blüthen, wo nicht selten durch Verzweigung oder Spaltung eine Verdoppelung oder Vervielfachung gewisser Blätter einzutreten scheint, welche bald einer Stipularbildung wie bei Galium, bald auch der wirklichen Bildung von Foliolis ihr Dasein verdanken mag.*)

---

*) Vgl. A. W. Eichler, Ueber den Blüthenbau der Fumariaceen etc. in Flora 1865.

Die wahren Verhältnisse sind zuweilen in den frühesten sichtbaren Zuständen, wo die seitlichen Organe eben als kleine Höcker zum Vorschein kommen, noch deutlich erkennbar; zuweilen erheben sich aber schon diese Höcker, obschon sie zum Theil als seitliche Bildungen anderer zu betrachten sind, scheinbar selbständig über die Stengeloberfläche. Der Beobachter ist in solchen Fällen, sofern es ihm nicht gelingt, die Anlegung der Organe weiter zurück zu verfolgen, auf morphologische Erwägungen angewiesen, deren Erörterung jedoch nicht in unserer Aufgabe liegt.

4. Systeme gleichwerthiger Organe.

Der vierte Punkt endlich, der bei der Bildung seitlicher Organe 543
von Bedeutung ist, betrifft die Ausbildung gleichwerthiger Organe zu verschiedenen architectonischen Systemen, d. h. das Zustandekommen jener vielgestaltigen, aus Strahlen verschiedener Ordnungen bestehenden Gerüste, wie wir sie beispielsweise in den Blüthenständen der höheren Pflanzen und in den zierlich verzweigten Thallomen der Florideen vor uns sehen. Es handelt sich hier, nachdem das Verhältniss der Tochterorgane zu einander und zum Mutterorgan im Vorhergehenden besprochen worden, einzig und allein um das Entwicklungsvermögen der verschiedenen Organe und um die vorkommenden Verzweigungsgrade. Diese beiden Factoren in einem gegebenen Falle festzustellen, ist die Aufgabe der Untersuchung.

Ehe wir auf die thatsächlichen Verhältnisse, wie sie der Pflanzenstock darbietet, näher eingehen, mögen ein paar schematische Darstellungen die Verschiedenheiten andeuten, welche der Beobachter vorzugsweise ins Auge zu fassen hat. Es sei Fig. 259 ein System gleichwerthiger Organe, wie sie im vollkommen ausgebildeten Zustande sich darstellen. Ein solches System lässt sich nun in sehr verschiedener Weise aufgebaut denken, wie man aus folgenden drei Fällen, welche noch keineswegs alle Möglichkeiten erschöpfen, entnehmen wird.

a) Die Mittellinie entspricht dem Mutterorgane (Fig. 259 *A*), die rechts und links davon abgehenden (2) sind gleichwerthige seitliche Organe, ähnlich wie die Blätter am Stamme. Das Mutterorgan besitzt hier das grösste Entwicklungsvermögen; die seitlichen Organe hören dagegen früh auf zu wachsen und verzweigen sich nicht.

b) Die Mittellinie wird von Strahlen verschiedener Ordnungen (1, 2—14 Fig. 259 *B*) gebildet, indem der obere Theil eines jeden Strahls von dem zugehörigen Tochterstrahl auf die Seite geschoben

wird (Sympodium). Der eine verzweigt sich, der andere nicht, und so geht es fort, so lange das Organ wächst (Fig. 259 *B*).



Fig. 259.

c) Die Mittellinie besteht ebenfalls aus Strahlen verschiedener Ordnungen; aber jeder dieser Strahlen erzeugt 4 seitliche, von denen je der oberste den Aufbau weiter führt (Fig. 259 *C*).

Ein zweiter Fall ist in Fig. 260 dargestellt: ein einfaches Organ geht nach oben in zwei oder in mehrere über, welche doldenförmig

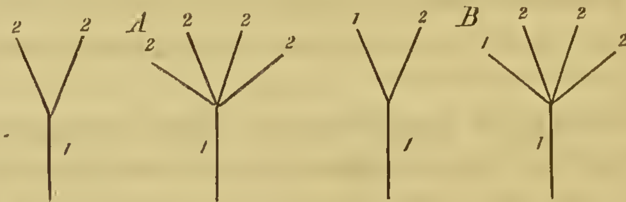


Fig. 260.

gestellt sind. Hier müssen zwei verschiedene Arten des Aufbaues unterschieden werden, deren Charakteristik in den Figuren *A* und *B* durch die den Doldenzweigen beigesetzten Ordnungszahlen gegeben ist. In *A* geht das Mutterorgan nur bis zur Verzweigungsstelle; die

Aeste sind sämmtlieh Strahlen zweiter Ordnung. In *B* dagegen setzt sich das Mutterorgan über die Verzweigungsstelle hinaus fort und bildet einen Doldenstrahl.

Je eomplicirter das fertige System, um so grösser ist natürlich auch die Zahl der denkbaren Combinationen sueeessiver Strahlen. Man begreift, dass nur ein Zurückgehen auf die ersten Anlagen neuer Organe es möglieh maeht, die Entstehungsfolge der versehiedenen Elemente des Systems mit Sieherheit festzustellen. Es ist nöthig, die Verzweigungsstellen in dem Stadium zu beobachten, wo man noeh deutlich sieht, welehes der beiden Organe das Mutterorgan ist. Nur ausnahmsweise lässt sieh die Frage aueh nach anderen Anhaltspunkten, bei höheren Pflanzen z. B. naeh der Stellung der Blätter und Knospen unterscheiden.

Ein weiteres Beispiel mag veransehaulichen, wie umgekehrt zwei 544
Systeme, die in der Anlage vollständig übereinstimmen, dureh die spätere Entwicklung einen durehaus versehiedenen Habitus erhalten. Die beiden Systeme bestehen aus einem primären Strahl mit quirlständigen oder spiraligen secundären Strahlen (Fig. 261). Diese letzteren besitzen bei dem einen ein sehr begrenztes Entwicklungsvermögen; sie bleiben kurz und unverzweigt, während der Hauptstrahl sieh beträehtlich verlängert. Bei dem andern ist das Verhältniss umgekehrt; der Hauptstrahl hört auf zu wachsen, sobald die seitliehen Organe angelegt sind, während die letzteren sich in die Länge strecken und mögleherweise selbst wieder Verästelungen bilden: Auf diese Weise erhält das erste System das Aussehen einer Aehre, das zweite dasjenige einer Dolde.



Fig. 261.

Diese Betraehtungen zeigen deutlieh genug, dass Anlage und spätere Ausbildung eines Organeomplexes für die Entwieklungsgesehiehte zwei Momente sind, die man nieht mit einander verwechseln darf. Verschiedenheiten, die sich mit Rüeksieht auf das eine ergeben, dürfen demnaeh bei der Combination mit den Kategorien, welehe das andere liefert, diesen letzteren nieht eoordinirt, sie müssen vielmehr übergeordnet oder untergeordnet werden.

Beschäftigen wir uns jetzt naeh dieser vorläufigen Orientirung 545
etwas genauer mit der Frage, wie die Art der Anlegung seitlicher Organe, d. h. deren Entwicklungsfolge, sieh durch Beobaehtung jugend-

licher Stadien ermitteln lasse. Diese Aufgabe ist keineswegs immer so leicht, wie sie vielleicht Manchem auf den ersten Blick erscheinen mag. Es gelingt im Gegentheil oft nur nach langem, mühsamem Suchen zu entscheiden, ob der primäre Strahl nach stattgefundener Verzweigung sich unbegrenzt weiter entwickle und immer neue seitliche Organe erzeuge, oder ob umgekehrt diese vorwiegende Entwicklungsfähigkeit dem secundären Strahl oder doch bestimmten secundären Strahlen zukomme, das Mutterorgan also im Wachsthum zurückbleibe.

Diese Schwierigkeit tritt uns z. B. bei dem in Fig. 262 *A* dargestellten Thallusende von *Callithamnion* entgegen. Der Aufbau

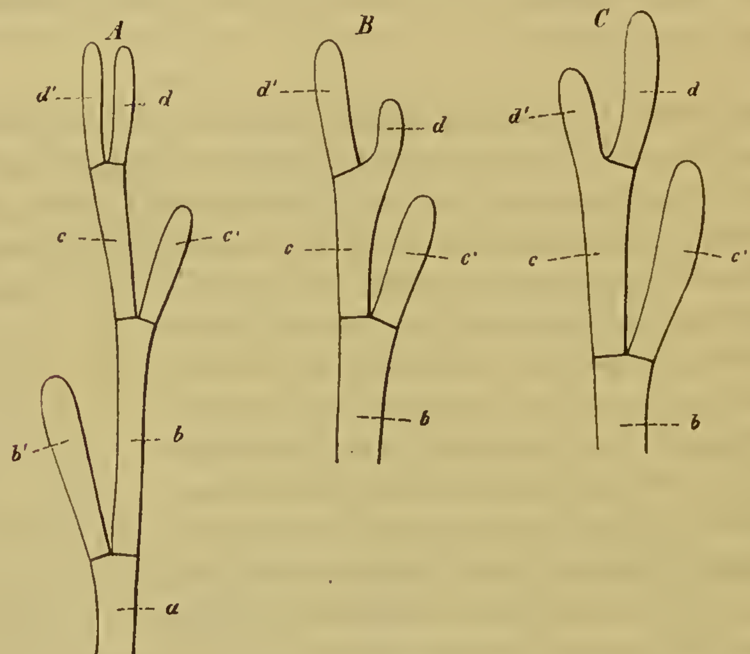


Fig. 262.

kann hier so stattgefunden haben, dass *abcd* die successiven Gliederzellen des primären Strahls bilden, an welchen nach einander die alternirenden Zweige *b'*, *c'* und *d'* aufgetreten sind. Er lässt sich aber ebenso gut auch so denken, dass *ab'* als primärer Strahl, *bc'* als secundärer, *cd'* als tertiärer, endlich *d* als quartärer Strahl aufzufassen, das Ganze also als Sympodium zu deuten wäre. Findet man dagegen Thallusenden, in welchen das genetische Verhältniss der Endzellen *dd'* klar ausgesprochen ist, etwa so wie in Fig. 262 *B*, so ist die eine der beiden Möglichkeiten abgeschnitten; denn da die kurzen Strahlen *b' c'* und die vorhergehenden regelmässig alterniren, so muss *d'* ebenfalls kurz bleiben, d. h. das Mutterorgan bleibt in

der Entwicklung stehen, während das Tochterorgan *d* den Aufbau weiter führt. Mit derselben Sicherheit lässt sich aus dem umgekehrten Verhältniss (Fig. 262 *C*) — ceteris paribus — der Schluss ziehen, dass die Glieder *a b c d* dem nämlichen Strahl angehören, der Aufbau also ein monopodialer sei.

Dass die nämlichen Anhaltspunkte auch dann noch genügen, 546
wenn die Stellung der kurzen Strahlen eine spiralige oder quirlige ist, leuchtet ohne Weiteres ein. Man begreift auch, dass es keineswegs nöthig ist, das Scheitelwachsthum der Organe Zelle für Zelle zu kennen, wie in dem angeführten Beispiel, das es ja nur darauf ankommt, nach der letzten Verzweigung in der Scheitelregion das Mutterorgan von dem neu gebildeten seitlichen zu unterscheiden. Alle im Vorhergehenden gezogenen Schlüsse gelten daher auch für die höheren Pflanzen; ja die Phanerogamen bieten sogar in mancher Beziehung geringere Schwierigkeiten als die Zellenpflanzen, da die Blattstellungsverhältnisse hier neue und wichtige Anhaltspunkte liefern. Wir wollen an einigen Beispielen zeigen, wie sich diese Verhältnisse verwerthen lassen, zugleich aber auch darthun, wie sie, für sich allein betrachtet, unter Umständen auch irre leiten können.

Eine Pflanze mit regelmässig alternirenden Blättern (Fig. 263) zeigt an den Knoten Axenorgane, z. B. Blüthenstiele oder Ranken, welche den Blättern opponirt stehen. Eine solche Pflanze kann, wenn das Wachsthum normal stattfindet, nur ein Sympodium sein; denn da regelmässig gestellte Axenorgane stets blattwinkelständig sind, so müssen die successiven Internodien *a*, *b*, *c*, *d* als Basilarstücke von Axillarzweigen gedeutet werden, welche je vom nächst unteren Knoten ausgehen. Der primäre Spross schliesst also mit *b'*, der secundäre mit *c'* ab u. s. f. Allein es sind anormale Verhältnisse denkbar, welche die Sache verwickeln. Die Axillarzweige können bis zum nächstfolgenden Knoten mit dem Stamm verwachsen, resp. während der Entwicklung in die Höhe gehoben werden. Unter dieser Voraussetzung wäre unsere Figur offenbar als Monopodium aufzufassen; *c'* wäre der Axillarspross des untersten, *d'* der des zweiten Blattes u. s. f.

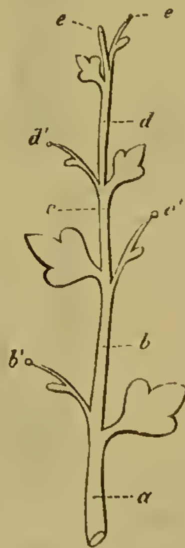


Fig. 263.

Da ähnliche Verwachsungen in der Natur wirklich vorkommen, so erhellt hieraus, dass die Stellungsverhältnisse allein die Entwick-

lungsweise der Axenorgane nicht immer verrathen. Kommen auch in manchen Fällen, namentlich wenn die Sprossenden b' c' etc. beblättert sind, noch weitere Kennzeichen hinzu, welche die Wahrscheinlichkeit eines monopodialen oder sympodialen Aufbaues oft fast bis zur Gewissheit steigern, so ist doch eine vollständige Gewissheit nur durch das Studium der Entwicklungsgeschichte erreichbar. Es handelt sich auch hier, wie bei *Callithamnion*, vor Allem um die Frage, welcher von den beiden Endsprossen e und e' der relativ primäre sei; dadurch erst erhalten die späteren Stadien und die Stellungsverhältnisse im entwickelten Zustande ihre wahre Bedeutung.

547 Ein zweites Beispiel ist in Fig. 264 dargestellt. Wenn man von der Blattstellung absieht, die hier der Einfachheit wegen zweizeilig angenommen ist, so entspricht dieses Schema ziemlich genau manchen Pflanzen aus der Familie der Solaneen. Nah dem unteren Theil der Figur zu schliessen, bildet das Ganze ein Monopodium mit annähernd opponirten Blättern, wovon das eine einen Axillarspross trägt. Ein Blick auf die Stammspitze zeigt aber sogleich, dass der Aufbau in Wirklichkeit ein sympodialer ist, weil der mit 5 bezeichnete Strahl sich unzweifelhaft als Axillarknospe erweist. Indem diese Axillarknospe sich vorwiegend entwickelt, drängt sie den Strahl 4 so auf die Seite, dass derselbe später in der Achsel des Blattes a_4, in derselben Reihe mit 1, 2, 3 zu stehen scheint. Da ferner b_3 und a_4 ein Blattpaar darstellen, so muss das folgende Blattpaar aus dem Tragblatt b_4 und dem ersten Blatt seines Axillarzweiges (a_5) gebildet werden. Diess ist aber nur unter der Voraussetzung möglich, dass das Blatt b_4 durch das spätere intercalare Wachsthum in die Höhe geschoben wird oder, wie man sich gewöhnlich auszudrücken pflegt, mit dem Spross 5 verwächst, während a_4 und b_3 ihre gegenseitige Lage beibehalten.

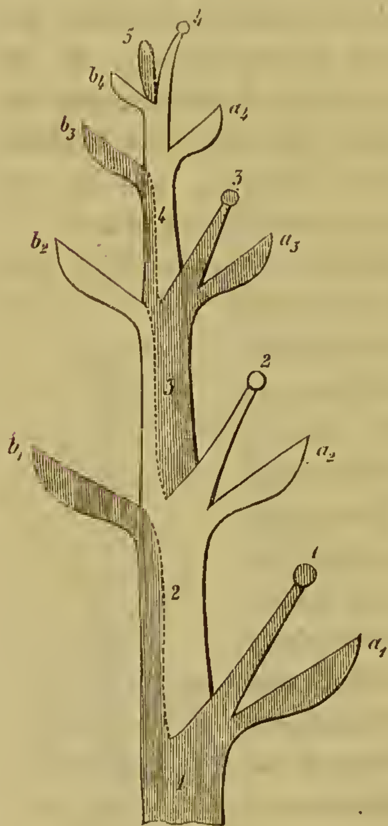


Fig. 264.

Hienach geschieht also das Wachsthum des Pflanzenstockes bei diesen Pflanzen in folgender Weise. Der primäre Spross 1 entwickelt zwei Blätter a_1 und b_1, das letztere mit einer entwicklungsfähigen Axillarknospe, dem secundären Strahl 2. Dieser verhält sich wie der primäre; er trägt zwei Blätter a_2 und b_2, wovon das obere den Trieb 3 mit den beiden Blättern a_3 und b_3 erzeugt u. s. f. In der Figur sind die auf einander folgenden Triebe des leichteren Verständnisses wegen sammt den zugehörigen Blättern abwechselnd dunkel und hell gehalten. — Mit dieser Entwicklung stimmt denn auch die wirkliche Blattstellung am Sympodium überein. Die beiden mit a und b bezeichneten Blätter der successiven Sprosse stehen nämlich um c. 165°, also nicht viel weniger als die Hälfte des Kreisumfanges von einander ab, und gehören abwechselnd einer rechts- und linksläufigen Spirale an. Die beiden in gleicher Höhe stehenden Blätter (a_2 und b_1, a_3 und b_2 etc.) zeigen dagegen nur eine Divergenz von 100°.

Als drittes Beispiel eines eigenthümlichen, oft unrichtig gedeute- 548
ten Wachsthums wollen wir noch die wilde Rebe und die Weinrebe anführen. Gewöhnlich betrachtet man dieselben als Sympodien, an welchen die Ranken die Enden der auf einander folgenden Sprosse darstellen. Diese Auffassung steht indess mit dem Verhalten der Stengelspitzen (Fig. 265, das obere Ende in B stärker vergrössert)

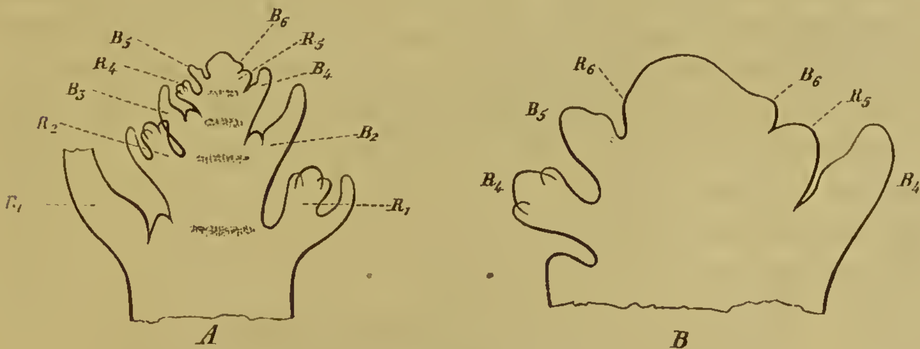


Fig 265.

in augenfälligem Widerspruch. Verfolgt man nämlich die zusammengehörigen, in nahezu gleicher Höhe opponirten Blätter und Ranken B_1 R_1, B_2 R_2 etc. von unten nach oben, so ergiebt sich schon aus den Form- und Stellungsverhältnissen des Blattes B_5 und der entsprechenden Ranke R_5, dass die letztere nicht wohl als Scheitel des Sprosses gedeutet werden kann, an welchem das Blatt B_5 eingefügt ist. Noch weniger wäre eine solche Deutung mit Rücksicht auf die

Blattanlage B_6 und die kaum angedeutete Rankenanlage R_6 gerechtfertigt; denn diese Anlagen sehen in jeder Beziehung gerade so aus, wie man sie bei Pflanzen, die entschieden keine Sympodien sind, beobachtet.

Die entwicklungsgeschichtlichen Thatsachen führen also zu dem Schluss, dass die Rebe als ein gewöhnliches Monopodium mit alternirenden Blättern und blattwinkelständigen Knospen (in Fig. 265 *A* bei B_1 bis B_3 durch kleine Höcker angedeutet) zu betrachten ist, in dessen Scheitelregion jedoch ausnahmsweise auch ausserhalb der Blattachseln regelmässig gestellte Axenorgane, die sich später zu Ranken ausbilden, angelegt werden. Man sieht auch, dass diese Rankenanlagen schon ursprünglich den Blättern opponirt stehen, und wenn man eine Reihe von Stammspitzen untersucht, so ergibt sich ferner, dass dieselben durchgehends etwas später auftreten, als das zugehörige Blatt. In all' diesen Punkten verhalten sich die zahme und die wilde Rebe, wie es scheint, vollkommen gleich.

549 Was nun noch die beblätterten Kryptogamen betrifft, so geben die morphologischen Verhältnisse im entwickelten Zustande hier noch weniger Aufschluss, als bei den Phanerogamen. Die neuen Sprosse entstehen nämlich nicht in den Blattwinkeln, sondern am Vegetationskegel des Stengels über den sichtbaren Blattanlagen, entweder durch wirkliche Dichotomie oder durch gewöhnliche Verzweigung eines Hauptstrahls. Es handelt sich also bei der Untersuchung zunächst darum, eine ächte Gabelung von einer bloss scheinbaren zu unterscheiden. Erst wenn es feststeht, dass die Verästlungen in der Regel unterhalb der Scheitelzelle angelegt werden, kann bei regelmässiger Stellung derselben die relative Entwicklungsfähigkeit der Mutter- und Tochterstrahlen und damit die Wachsthumsweise der Pflanzen bestimmt werden. Sind dagegen die beiden Strahlen gleichwerthig, wie bei der ächten Gabelung, so kann bloss noch in Frage kommen, ob sich dieselben auch gleichmässig entwickeln, und wenn nicht, wie die in der Entwicklung zurückbleibenden Strahlen am Stamme gestellt sind. Von diesem letzteren Punkte war indessen schon oben die Rede.

Die Unterscheidung der ächten Dichotomie von der unächten ist nun aber bei Organen, deren Scheitelwachsthum nicht genauer bekannt ist, eine schwierige Sache, ja streng genommen geradezu unmöglich. Man findet bei *Lycopodium* und *Selaginella* Stammspitzen mit einem in zwei vollkommen gleiche Höcker getheilten

Punctum vegetationis und andere, bei denen der junge Spross etwas unterhalb der eigentlichen Spitze angelegt und in Folge dessen stärker gegen die Längsaxe geneigt erscheint. Dessenungeachtet scheinen die Verästlungen, so weit wenigstens die Stellungsverhältnisse darüber Aufschluss geben, vollkommen gleichwerthig zu sein. Die scheinbare oder wirkliche Gabelung kommt übrigens nur bei Kryptogamen häufiger vor; bei Phanerogamen ist sie selten und unseres Wissens bis jetzt nur an Wurzeln beobachtet.

Noch verdient der Aufbau der Blüthenstände einer be- 550
sondern Erwähnung. Hier kommt neben der Entwicklungsfähigkeit der verschiedenen Strahlen auch die Frage in Betracht, ob jeder derselben mit einer Blüthe endige oder nicht. Bei den geschlossenen Systemen geht der primäre Strahl, sowie alle übrigen, in eine Blüthe aus; bei den ungeschlossenen dagegen endigen nur die seitlichen Strahlen in Blüthen, indess der primäre Strahl (Spindel) sein Längenwachsthum mit einer sterilen Spitze abschliesst. Es ist diess ein weiterer Umstand, der für die Charakteristik der Blüthenstände von Bedeutung ist. Zwei Systeme von Axenorganen können in der Blüthenregion hinsichtlich der Anlage und der Dimensionsverhältnisse im ausgebildeten Zustande vollkommen übereinstimmen, und nur in der Vertheilung der Blüthen auf die verschiedenen Strahlen differiren. Solche Differenzen kommen hie und da bei natürlichen Pflanzenfamilien, deren Inflorescenzen habituell übereinstimmen, vor und können durch genaue mikroskopische Untersuchung der jüngsten Zustände sicher nachgewiesen werden.

V.

Entwicklung der Fortpflanzungszellen.

Die allgemeinen Gesichtspunkte, nach welchen die vegetativen 551
Wachsthumserscheinungen in den vorhergehenden Capiteln erörtert wurden, sind auch hier als die leitenden zu betrachten. Denn auch die Bildung der Fortpflanzungszellen ist ein Entwicklungsprocess, welcher wie jeder andere auf bestimmten Theilungen oder Neubildungen von Zellen oder auf Differenzirungen im Gewebe beruht, — allerdings verbunden mit der späteren Trennung der Zellen oder Zellcomplexe, die jedoch in vegetativen Geweben ebenfalls vorkommt;

seine ganze Eigenthümlichkeit liegt streng genommen nur in der physiologischen Bedeutung der Zellen. In Berücksichtigung der grössern Mannigfaltigkeit, welche die Fortpflanzungserscheinungen darbieten, und der Constanz der darauf bezüglichen morphologischen Verhältnisse erscheint es aber nichtsdestoweniger gerechtfertigt, denselben nachträglich eine besondere Betrachtung zu widmen.

1. Bildungsweise der Fortpflanzungszellen.

552 Zunächst handelt es sich um das Verhältniss der Fortpflanzungszellen zu den erzeugenden, d. h. um die Art der Zellbildung, welcher dieselben ihren Ursprung verdanken. Man kann in dieser Beziehung folgende Fälle unterscheiden:

Die Fortpflanzungszelle entsteht

a) Unmittelbar durch Metamorphose einer vegetativen Zelle. Sie verdankt somit ihre Entstehung keinem besondern reproductiven Zellbildungsprocess. So bei der Sporenbildung der Nostochaceen (Rivularia, Cylindrospermum etc.).

Eine besondere Form dieses Processes besteht darin, dass der Plasmaschlauch einer vegetativen (d. h. durch vegetative Zelltheilung entstandenen) Zelle sich mit einer neuen Membran umhüllt, wobei er entweder sich bloss zuvor contrahirt oder auch durch eine auf verschiedene Weise gebildete Oeffnung die ursprüngliche Zelle verlässt. Hieher gehört z. B. die Bildung der Schwärmsporen bei Oedogonium.

b) Durch besondere Zelltheilung, die von derjenigen des vegetativen Aufbaues verschieden erscheint. Mit dem Ausdruck Zelltheilung bezeichnen wir diejenige Art der Zellbildung, bei welcher der ganze Plasmainhalt durch Einfaltung und Abschnürung des Plasmaschlauches in zwei oder mehrere Tochterzellen zerfällt, gleichviel ob unter simultaner Bildung von trennenden Cellulosewänden oder ohne dieselbe.

α. Ohne deutliche Wandbildung. Die Zellen erhalten erst später Membranen, sei es, dass sie in ihre Lage bleiben oder sich von einander trennen und schwärmen. — Bei dieser Entstehungsart der Zellen zerfällt das den ganzen Zellraum erfüllende Plasma gleichzeitig oder durch rasch sich wiederholende Zweitheilung in mehrere oder viele Partieen, welche erst nur durch zarte, dann stärker hervortretende Linien getrennt erscheinen, sich aber später mit deutlichen, der Mutterzelle nicht anhaftenden Membranen umkleiden. So bei der Sporenentwicklung der Mucorinen, der Zoosporenbildung der Saprolegnieen und Peronosporeen, ferner bei der Entwicklung

der Schwärmsporen von Pediastrum und andern Palmellaceen, desgleichen bei Ulothrix, Ulva etc.

β Mit deutlicher Scheidewandbildung. Auch in diesem Falle erhalten die Zellen nachträglich oft noch besondere Membranen. Der Vorgang der Theilung ist übrigens von dem bekannten vegetativen nicht verschieden; nur dass in manchen Fällen eine simultane Viertheilung, statt der gewöhnlichen Zweitheilung stattfindet. — Kommt vor bei vielen einzelligen Algen (Diatomeen, Palmellaceen etc.), ferner bei der Bildung der Tetrasporen und Keimhäufchen vieler Florideen, bei der Sporenbildung der höhern Kryptogamen, bei der Pollenbildung der Phanerogamen etc.

c) Durch Ausstülpung und Abschnürung. Ist im Grunde von der ächten Zelltheilung nicht principiell verschieden, jedoch der Form nach ausgezeichnet. Die Abschnürung kann in einem oder an mehreren Punkten gleichzeitig stattfinden, ohne sich zu wiederholen (simultane Abschnürung); oder es können mehrere bis viele Abschnürungen am nämlichen Punkte, eine nach der andern, erfolgen (succedane Abschnürung). Simultane Abschnürung beobachtet man z. B. an den Basidien sämmtlicher Hymenomyceten und Gastromyceten, sowie bei manchen andern Pilzgruppen, succedane Abschnürung in verschiedener Form bei manchen Hyphomyceten (Sporenköpfchen bei Botrytis Bassiana u. a., einfache Sporenketten bei Cystopus, ästige Sporenketten bei Periconia u. a.).*)

d) Durch freie Zellbildung, wobei sich innerhalb des Primordialschlauches kugelförmige Plasmapartieen individualisiren, von denen sich später jede zu einer Zelle ausbildet. Der Inhalt wird immer nur theilweise zur Anlage verwendet; der Rest bleibt in der Mutterzelle und wird später entweder resorbirt oder stirbt mit der Mutterzelle ab. Die Entwicklung der Tochterzellen innerhalb eines Ascus geschieht bald simultan, wie bei den Flechten und der Mehrzahl der Ascomyceten, bald succedan, wie bei manchen Tuberaceen und im Embryosack der Phanerogamen, dabei in constanter oder in veränderlicher Zahl.

Eine besondere Form der freien Zellbildung ist die, dass der aus Plasma bestehende Wandbeleg der Mutterzelle durch Theilung in kleine Portionen zerfällt, wovon jede zur besondern Zelle wird. In der Mutterzelle bildet sich somit eine wandständige Schicht von Tochterzellen. Diess ist der Fall bei Endococus Näg. und wahrschein-

*) Vgl. De Bary in Hofmeister's Handbuch der physiol. Bot. II, S. 111 u. ff.

lich auch bei Hydrodictyon. Von ersterer Gattung sind in Fig. 266 drei verschiedene Stadien der Theilung dargestellt.

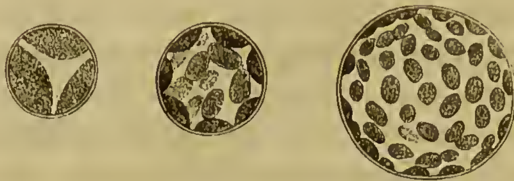


Fig. 266. (1000)

e) Durch Copulation zweier gleichwerthiger Zellen. Die sich copulirenden Zellen gehören bald dem nämlichen Individuum, bald zwei verschiedenen Individuen an; überdiess ist die Art und Weise, wie die Copulation stattfindet, hinsichtlich der Form des Verbindungskanales, der Lage der Zygospore u. dgl. sehr verschieden. Es ist ferner darauf zu achten, ob der Inhalt der beiden Zellen ganz oder nur theilweise zur Bildung der Spore verwendet wird.

f) Durch Befruchtung einer grossen weiblichen durch eine kleine männliche Zelle. Auf diese Weise entstehen die Sporen bei Vaucheria und die Theilsporen der Fucoideen. Die Bildung der Membranen, beziehungsweise der Scheidewände erfolgt hier erst nach stattgefundener Befruchtung.

Die hier aufgezählten Zellbildungsprocesse sind übrigens nicht scharf von einander geschieden. Es giebt solche, die so allmählich in einander übergehen, dass eine bestimmte Grenzlinie zwischen denselben unmöglich zu ziehen ist. Solche Uebergänge beobachtet man namentlich zwischen *a*) und *b*) und zwischen *b*) und *c*). In andern Fällen ist der wirkliche Charakter der Zellenbildung schwer zu erkennen. Die Zelltheilung ohne Scheidewandbildung kann z. B. unter Umständen leicht mit der freien Zellbildung verwechselt werden. Die Bildung der Zellen aus einem wandständigen Plasmabeleg kann ferner leicht für wiederholte Zweitheilung der Zelle angesehen werden.

In allen Fällen, die Fortpflanzungszellen mögen nun dieser oder jener Art der Zellbildung ihre Entstehung verdanken, sind auch die einleitenden Processe in der Mutterzelle von Wichtigkeit. Dahin gehören z. B. die Bildung eines neuen secundären Kerns neben dem primären oder nach Resorption des letztern die Bildung von Kernen für die Tochterzellen, Veränderungen in der Beschaffenheit und Anlagerung des Inhaltes u. s. w.

2. Lage der keimbildenden Zellen.

553 Eine zweite Frage, welche bei allen mehrzelligen Pflanzen sich aufdrängt, betrifft das räumliche oder morphologische Verhältniss der

reproductiven Zellen zum Organ, auf dem sie entstehen. Behalten wir die oben gewählte Eintheilung der Organe in Zellreihen, Zellflächen und Zellkörper bei, so sind mit Rücksicht auf diese Frage folgende Fälle zu unterscheiden.

a) Zellreihen. Die keimbildenden Zellen sind hier entweder Endzellen oder Gliederzellen. Sie nehmen im letzteren Falle, sofern die Glieder ungleichwerthig sind, bald eine bestimmte, morphologisch definirbare Stelle ein, bald entwickeln sie sich ohne nachweisbare Gesetzmässigkeit aus den verschiedensten Zellen.

Beispiele für diese Entwicklungstypen liefern die endständigen Sporen mancher Hyphomyceten, die Mutterzellen der Schwärmsporen bei Cladophora, Ulothrix u. a., die aus Gliederzellen entstandenen Oogonien und Antheridien der Oedogonien, die Brutzellen mancher Pilze, welche durch Zerfallen isolirter Fäden in ihre einzelnen Zellen entstehen u. s. w.

b) Zellflächen. Die keimbildenden Zellen sind entweder Flächenzellen oder Randzellen mit gesetzmässiger oder regelloser Anordnung, einzeln oder zu mehreren beisammen.

Beispiele: die Schwärmsporen-Mutterzellen bei Ulva, die Oogonien- und Antheridien-bildenden Zellen bei Coleochaete u. a.

Ob eine reproductive Zelle als Randzelle oder als Flächenzelle zu deuten sei, muss in schwierigeren Fällen nach jugendlichen Zuständen, wo die Keime noch als Anlagen vorhanden sind, entschieden werden, da spätere Stadien leicht zu irrigen Schlüssen führen. So oft nämlich eine Randzelle zur Fortpflanzungszelle wird, hört natürlich die Betheiligung derselben am peripherischen Wachsthum der Zellfläche auf. Die nebenan liegenden Zellreihen wachsen in Folge dessen darüber hinaus und schliessen sich ausserhalb derselben wieder zusammen, so dass die ursprüngliche Randzelle scheinbar zur Flächenzelle wird. Diess ist z. B. bei *Coleochaete scutata* und andern Arten dieser Gattung der Fall, von denen Pringsheim angiebt, dass sich beliebige Flächenzellen zu Oogonien ausbilden, während jugendliche Zustände (Fig 267) beweisen, dass es ursprünglich Randzellen sind. In unserer Figur erscheinen die drei jungen Oogonien (*o*) noch deutlich als Endzellen von radialen Reihen, von denen

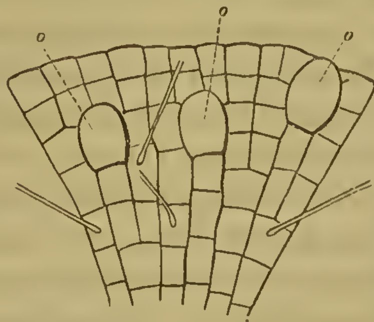


Fig. 267. (100)

jedoch eine einzige (rechts) die Peripherie erreicht, indess die beiden andern im Wachsthum zurückgeblieben, d. h. von den benachbarten umschlossen sind.

c) Zellkörper. Die keimbildenden Zellen entstehen entweder an der Oberfläche oder im Innern des Gewebes, von einer oder mehreren Zellschichten bedeckt, ferner einzeln oder zu mehreren beisammen in verschiedener Anordnung, bald nach Art der vegetativen Gewebe durch Differenzirung bestimmter Zellpartieen, bald auf einem besondern Keimboden, welcher die verschiedensten Formen (eben, convex, concav etc.) annehmen kann.

Die Hauptpunkte, auf welche der Beobachter sein Augenmerk zu richten hat, sind in diesen Worten kurz angedeutet; allein bei der grossen Verschiedenartigkeit der hieher gehörigen Fälle erheischen dieselben eine etwas weitere Ausführung.

Die Frage, ob die reproductiven Zellen oberflächliche Bildungen seien, oder ob sie im Innern des Gewebes entstehen, kann oft nur durch entwicklungsgeschichtliche Untersuchungen entschieden werden, da hierüber das anatomische Verhalten des fertigen Zustandes nur in den leichteren Fällen Aufschluss giebt. Als Beispiel sei hier nur die Fruchtschicht der fucusartigen Algen erwähnt. Dieselbe befindet sich, ähnlich wie bei den Pyrenomyceten und angiocarpen Flechten in einem Receptaculum, welches mit einer kleinen Oeffnung (Porus, Ostiolum) nach aussen mündet; sie scheint also, nach diesem fertigen Zustande zu urtheilen, im Innern der Fruchtäste entstanden zu sein. Allein die Entwicklungsgeschichte lehrt das Gegentheil: die Zellen der Fruchtschicht sprossen aus der Oberfläche hervor, welche letztere sich an dieser Stelle in der angegebenen Weise einstülpt. Die Fruchtschicht der Pyrenomyceten und Flechten dagegen wird im Innern des Thallus angelegt und die Bildung des nach aussen mündenden Porus beruht auf dem Auseinanderweichen der peripherischen Zellen im Verlaufe des Wachsthums.

Eine Frage verwandter Natur ist bei kleinen reproductiven Organen (Antheridien, Sporangien u. dgl.) die, ob das ganze Gewebe sich in reproductive Zellen umwandle, oder ob eine oberflächliche, epidermisähnliche Zellschicht vorhanden sei, welche später von den Fortpflanzungszellen durchbrochen wird. Auch in diesem Punkte können, wie aus den widersprechenden Ansichten neuerer Autoren hervorgeht, Täuschungen leicht vorkommen. Den Farrenantheridien schreiben z. B. noch gegenwärtig die einen Beobachter eine peripherische vegetative Zellschicht zu, während sie andere in Abrede stel-

len, indem sie die Umhüllung für eine einfache Membran erklären. In allen uns bekannten Fällen ist es übrigens entschieden immer eine Zellschicht; allein die wenigen Zellen, woraus sie besteht, sind bei älteren Antheridien meist so abgeplattet, dass sie in der That wie eine einfache Membran aussehen. — In Fig. 268 ist ein solches Farren-

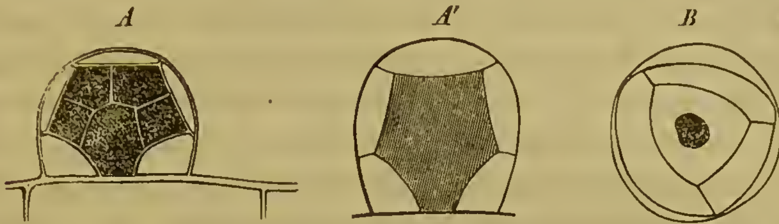


Fig. 268.

antheridium abgebildet; *A* und *A'* sind Seitenansichten jugendlicher Zustände, *B* stellt ein entleertes Antheridium von oben gesehen dar.

Die Anordnung der reproductiven Zellen ist in der Regel, wenn man von den complicirteren Stellungsverhältnissen (Spiralen u. dgl.) absieht, sowohl bei oberflächlicher Lage, als bei der Vertheilung derselben im Gewebe unschwer zu ermitteln. Es handelt sich hier zunächst darum zu entscheiden, ob dieselben einzeln über die Oberfläche oder im Gewebe zerstreut, oder aber in Gruppen, Zonen oder zu grösseren Gewebepartieen vereinigt sind. Einzeln und oberflächlich stehen z. B. die Sporenmutterzellen gewisser Formen von Dictyota, in Gruppen vereinigt die Antheridien der nämlichen Pflanzen und vieler andern, desgleichen die Sporen bei einer grossen Zahl von Florideen und Fucoideen; einzeln im Innern die Eizellen der Archegonien, der Embryosack der Phanerogamen etc.; zu vieren im Innern die Macrosporen der Selaginellen; zu vielen im Innern die Sporen und Spermatozoen Mutterzellen der Moose und Lebermoose, die Pollenkörner u. s. w.

In zweiter Linie ist zu untersuchen, ob die reproductiven Zellen allein oder in Begleitung von vegetativen (Paraphysen, Paranemata, Schleudern) auftreten, welcher letztere Fall bekanntlich sowohl bei Land- als Wasserpflanzen häufig vorkommt.

Die speciellen Stellungsverhältnisse, d. h. die genaue räumliche Anordnung der keimbildenden Zellen, spiralige Stellungen u. dgl. übergehen wir hier, da in diesem Betreff die nämlichen Fragen in Betracht kommen, wie bei den vegetativen Wachsthumsprocessen.

Was nun noch den letzten Punkt anbelangt, die Frage nämlich, ob

die reproductiven Zellen aus einem besondern Keimboden hervorsprossen oder wenigstens anatomisch mit einem solchen zusammenhängen, so mögen bei einfach gebauten Pflanzen einzelne Fälle vorkommen, wo mit Rücksicht hierauf, bei vollständiger Kenntniss der thatsächlichen Verhältnisse, verschiedene Auffassungen möglich sind. Die Mehrzahl der Fortpflanzungsorgane gehört jedoch entschieden in die eine oder in die andere Kategorie. Ohne Keimboden ist z. B. das reproductive Gewebe der Antheren, der Sporangien und Antheridien bei Farren, Moosen etc.; einen ausgeprägten Keimboden besitzen dagegen die reproductiven Organe der Flechten, Hymenomyceten und Pyrenomyceten, die Cystocarpien der Florideen, die Conceptacula der Fucaceen, die Antheridien der Charen etc.

Bei oberflächlicher Lage der keimbildenden Zellen stellt gewissermaassen das entsprechende Stück Oberfläche den Keimboden dar; hier kommt es indess vorzugsweise darauf an, ob der Keimbildung bestimmte Theilungsprocesse vorausgehen oder nicht.

3. Ursprung und Entwicklungsfolge der keimbildenden Zellen.

554 Soll die Entwicklungsgeschichte reproductiver Zellcomplexe zu einem befriedigenden Abschluss gebracht werden, so ist es nothwendig, dieselbe bis zu einem Anfangsstadium zu verfolgen, wo die fraglichen Bildungsprocesse sich unmittelbar an die bekannten vegetativen Wachsthumsvorgänge anschliessen. Besteht z. B. das reproductive Gewebe, wie es bei Zellkörpern häufig der Fall ist, aus vielen neben und übereinander liegenden Zellen, so fragt es sich, ob diese vielen Zellen aus einer einzigen ursprünglichen Zelle, oder aus einer einfachen Zellschicht, oder aus einer körperlichen Gruppe von Zellen hervorgehen. Für alle diese Fälle gibt es in der Natur Beispiele genug. Aus einer einzigen Zelle entstehen z. B. die Sporen in den Sporangien der Farren, der Equiseten, Selaginellen u. a., die Keimhäufchen der Callithamnien etc.; aus einer Zellreihe die Pollenmutterzellen in manchen Antheren, aus einer Zellfläche die Sporen nebst Schleudern bei Frullania (nach Hofmeister), aus einer hohlcylindrischen Zellschicht die Sporen der Laubmoose, aus einer körperlichen Zellgruppe endlich die Pollenmutterzellen gewisser Pflanzen.

Ist dagegen im ausgebildeten Zustande eine einzige oder eine geringe Zahl von Fortpflanzungszellen vorhanden, so ist die Möglichkeit ins Auge zu fassen, dass die junge Anlage deren mehrere oder viele besitzt, von denen sich aber nur eine oder wenige entwickeln, indess die übrigen resorbirt werden. Diess ist z. B. bei den

Makrosporen der Pilularien der Fall. Das junge Sporangium enthält eine grössere Zahl von Sporen in tetraedrischen Gruppen. Von diesen Gruppen verschwinden in der Folge alle bis auf eine, und von dieser entwickelt sich eine einzige Zelle zur Makrospore.

Ein anderer Gesichtspunkt betrifft die Frage, ob alle Zellen, die einen einheitlichen Ursprung haben, sofern sie nicht durch Resorption verschwinden, zur Bildung von Fortpflanzungszellen verwendet werden, oder ob ein Theil derselben anderweitige Umbildungen erfahre. Im letztern Falle ist weiter zu untersuchen, welche Zellen die eine und welche die andere Verwendung erhalten. Zur Erläuterung dieser Frage erwähnen wir beispielsweise die Sporenbildung bei Polysiphonia, wo eine der peripherischen (die Centralzelle umgebenden) Zellen sich zunächst in 2 oder 3 äussere Zellen und eine innere Zelle theilt, von denen die letztere in eine untere und eine obere Zelle zerfällt. Die obere ist die Sporenmutterzelle. In Fig. 269 ist diese Theilung dargestellt; *A* ist ein gewöhnliches vegetatives Glied mit einer

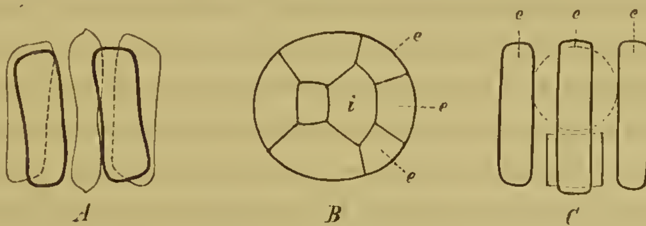


Fig. 269.

centralen und 4 peripherischen Zellen in der Längsansicht; *B* ein reproductives Glied im Querschnitt mit der Sporenmutterzelle *i* und 3 äussern Theilzellen *e*; *C* stellt den Complex der 3 äussern und der beiden innern Zellen in der Längsansicht von aussen gesehen dar.

Die Entwicklungsfolge der reproductiven Zellen betreffend, so ist zu untersuchen, ob die Ausbildung derselben in einer bestimmten Reihenfolge, z. B. von unten nach oben oder von oben nach unten etc. oder vielleicht simultan stattfinde. Als Beispiel sei erwähnt, dass die Schwärmsporenbildung bei *Ulothrix* in der Scheitelregion beginnt und nach unten hin fortschreitet, indess die Entwicklung der Antheridienzellen bei *Callithamnion* (Dasythamnion) u. a. sich umgekehrt von unten nach oben vollzieht. Sind die reproductiven Zellen zu einer Fruchtschicht (Hymenium) vereinigt, so kann das Wachsthum derselben ein vorwiegend peripherisches, oder ein vorwiegend intercalares oder ein durchweg gleichmässiges sein.

4. Veränderungen benachbarter Zellen und Zellcomplexe.

555 Die Entwicklung der keimbildenden Zellen ist in vielen Fällen mit Veränderungen in den angrenzenden vegetativen Zellen und Zellcomplexen verbunden, welche der Beobachter mit zu berücksichtigen hat. Dahin gehören z. B. die Modificationen des Inhaltes oder der Membran, wie man sie hin und wieder an den Gehäusen der Flechtenapothecien beobachtet, ferner die Resorption von Zellen und Zellschichten an der Innenseite der Antheren- und Sporangienwände und in der Umgebung des Embryosackes, namentlich aber die erhöhte Theilungs- und Entwicklungsfähigkeit der benachbarten Zellen. Zur nähern Erläuterung dieser letztern Erscheinung mögen folgende Beispiele dienen.

Bei *Nitophyllum* ist die Sporenmutterzelle eine Flächenzelle des einschichtigen Thalloms; die dieselbe umgebende Partie wird jedoch durch zweimalige Theilung dreischichtig. — In den *Antheren* zeichnet sich die innerste Schicht der Wandung, bevor sie resorbirt wird, durch eine eigenthümliche Theilungs- und Entwicklungsfähigkeit aus, indess andere Partieen des Gewebes spiralige Verdickungen erhalten. Aehnliche Metamorphosen beobachtet man auch bei allen Sporangien. — Bei manchen Flechten (Parmelia, Sticta etc.) entwickelt sich die das reproductive Gewebe umschliessende Rinde zu einer Scutella, deren Rand über die in die Höhe gehobene Fruchtschicht hinausragt; bei Solorina kommt sogar auf der Unterseite des Thallus an dem den Apothecien entsprechenden Stellen eine schön-parenchymatische Rinde zu Stande, welche dem vegetativen Thallom mangelt.

In andern Fällen erzeugen die vegetativen Zellen, welche den keimbildenden zunächst liegen, besondere Trichomgebilde (Paraphysen etc.), wie sie namentlich bei Fucoidcen in der verschiedensten Anordnung vorkommen.

Wir haben uns im Vorhergehenden auf die Hervorhebung derjenigen Punkte beschränkt, welche sich auf das Verhältniss der Fortpflanzungszellen zu den erzeugenden, sowie ferner auf die Lage und die Entwicklungsweise der letztern und auf die Veränderungen benachbarter Zellen im reproductiven Organ beziehen. Eine erschöpfende Darstellung der Fortpflanzungserscheinungen würde nun weiter das Verhältniss des reproductiven Organs zur ganzen Pflanze zu berücksichtigen haben. Da indess die Fragen, welche hier in Betracht kom-

men, die nämlichen sind, wie bei den vegetativen Organen, so verweisen wir in diesem Betreff auf das früher Gesagte.

VI.

Gefässbündeluntersuchungen.

Die Art und Weise, wie die Gefässbündel des Blattes sich mit 556
denen des Stammes verbinden: ob sie vom Stamme in die Blätter hinauswachsen oder umgekehrt von diesen in jenen herein, und welche Regeln den Längsverlauf der entwickelten Blattspuren und die damit zusammenhängende Beziehung zur Blattstellung beherrschen — das Alles ist in neuerer Zeit wiederholt Gegenstand der Untersuchung gewesen. Es scheint jedoch, dass manche Beobachter gerade bei diesen Untersuchungen (sowohl technisch als theoretisch) höchst unsichere Wege eingeschlagen haben, da die gewonnenen Resultate selbst in Punkten differiren, die bei richtiger Behandlung des Objects sich in directester Weise entscheiden lassen. Mit Rücksicht hierauf mag es daher nicht ganz überflüssig erscheinen, wenn wir den Gefässbündeluntersuchungen ein besonderes Capitel widmen.

Wie man schon aus den oben gestellten Fragen ersieht, handelt es sich bei diesen Untersuchungen um zwei wesentlich verschiedene Dinge, einmal um die Beschaffenheit des fertigen Gefässnetzes und zweitens um seine Entwicklungsgeschichte. Beide verlangen zuvörderst geeignete Präparate, welche die vorhandenen Bündel auf Quer- und Längsschnitten mit Sicherheit erkennen lassen. Manche Pflanzengewebe sind nun zwar von Natur so durchsichtig, dass man auf dünneren Durchschnitten jedes einzelne Gefäss deutlich wahrnimmt; allein da es wichtig ist, zuweilen auch dickere Schnitte und selbst ganze oder halbirte Stammenden für die Untersuchung verwerthen zu können, so erscheint es selbst in diesem günstigsten Falle vortheilhaft, Reagentien zu gebrauchen, welche die Durchsichtigkeit der Präparate steigern. In vielen anderen Fällen ist diess geradezu unerlässlich, da die Elementarorgane auch auf den dünnsten Durchschnitten nicht deutlich genug hervortreten. Die Ermittelung einer möglichst zweckmässigen Behandlung der Präparate muss alsdann jeder weiteren Untersuchung vorausgehen. Ueber diesen Punkt mögen desshalb auch hier zuallernächst einige Bemerkungen folgen.

1. Behandlung der Präparate.

557 Welche Reagentien auf die verschiedenen Gewebe am günstigsten einwirken, lässt sich natürlich nicht ein für allemal feststellen, da diese Wirkung, wie leicht einzusehen, wesentlich vom Inhalt der Zellen abhängt. Bei einer grossen Zahl von Pflanzen hat sich indess verdünnte Kalilösung als sehr geeignet erwiesen; sie kann als Universalmittel zur Behandlung der Präparate bezeichnet werden. Oft genügt es, einen Tropfen dieser Flüssigkeit dem Wasser, in welchem die Schnitte liegen, zuzusetzen und den günstigsten Augenblick der Einwirkung abzuwarten. In anderen Fällen, namentlich wenn die Schnitte sehr dick sind, wie diess z. B. bei Stammenden, die man der Länge nach halbirt hat, immer der Fall ist, muss eine concentrirtere Lösung angewendet und das Präparat oft längere Zeit erhitzt werden, bis es hinreichend durchsichtig wird. Das Erhitzen geschieht immer am besten auf dem Objectträger selbst. Ist es nöthig, den Druck des Deckgläschens beim Verdampfen der Flüssigkeit zu vermeiden, so legt man Papierstreifen unter oder setzt von Zeit zu Zeit einen Tropfen neuer Lösung zu.

Ist das Gewebe bereits verholzt, so gelingt es bisweilen, die Spiralgefässgruppen durch Kochen in starker Salpetersäure, Auswaschen und nachherigen Zusatz von Kali deutlich zu machen. Die Säure muss in der Regel so lange einwirken, bis die Schnitte, die sich zunächst dunkler färben, vollständig farblos geworden sind. — Sind Harze, Oele etc. in den Zellen enthalten, so mag man es versuchen, diese Substanzen durch die entsprechenden Lösungsmittel auszuziehen und dann erst Kali zuzusetzen.

Die mit Kali behandelten Präparate behalten zuweilen nur kurze Zeit dieselbe Durchsichtigkeit und trüben sich hierauf wieder. Die Veränderung kann so rasch eintreten, dass es nicht möglich ist, eine grössere Zahl von Schnitten, die auf dem Objectträger liegen, im günstigen Stadium der Einwirkung zu beobachten und genau zu vergleichen. Unter solchen Umständen thut man am besten, die Schnitte der Reihenfolge nach einzeln in verdünnte Kalilösung zu bringen und die Anordnung der Gefässbündel, wo es nöthig ist, Schnitt für Schnitt zu skizziren.

2. Verlauf der Gefässbündel.

558 Die Methode betreffend, die man zur Feststellung des Gefässbündelverlaufes einzuschlagen hat, so beschränken wir uns hier auf die Combination successiver Querschnitte und zusammenge-

höriger Längshälften; wo diese nicht zum Ziele führen, ist mit Maceriren oder Freipräpariren der Gefässbündel auch Nichts gewonnen. Die successiven Querschnitte müssen natürlich so dünn und so durchsichtig sein, dass sich die einzelnen Gefässbündel in jedem folgenden Schnitte wieder erkennen, folglich die vorkommenden Verschmelzungen oder Trennungen sich leicht verfolgen lassen. In den Knoten kann sogar ein Umwenden einzelner Schnitte nothwendig werden, um über die Veränderungen, welche von einer Schnittfläche zur andern stattfinden, ins Klare zu kommen. Zur raschen und sichern Verwerthung des Gesehenen für die Darstellung der räumlichen Veränderungen im Längsverlaufe der Bündel ist übrigens unter allen Umständen eine gewisse Uebung erforderlich, die man sich nach und nach erwerben muss; doch bringt es jeder Anfänger bald dahin, die Aufgabe für die leichteren dicotyledonen Pflanzen zu lösen.

Da die Stellung der Blätter als gegeben zu betrachten ist, so lässt sich auch ein allfällig spiraliger oder geschlängelter Verlauf aus der allmählichen Ab- und Zunahme der Winkelabstände bekannter Bündel bestimmen, wie denn überhaupt die Querschnitte für sich allein Alles bieten, was zur Kenntniss und genauen Construction des Gefässbündelnetzes nothwendig ist. Die unten angeführten Beispiele mögen hiezu als Belege dienen.

Wo es darauf ankommt, auch die Längenverhältnisse dieses Netzes genau zu kennen, d. h. jede Veränderung im Querschnitt auf das richtige Niveau zu beziehen, bringt man auf der Oberfläche des zu untersuchenden Stammstückes in bestimmten Abständen, etwa von 5 zu 5 m. m., beliebige Zeichen an, welche die Höhe der successiven Schnittflächen zu bestimmen oder approximativ zu schätzen gestatten. Zuweilen kann auch das Einritzen einer Längslinie in die Oberfläche zur leichteren Orientirung und genaueren Bestimmung seitlicher Verschiebungen auf den successiven Querschnitten zweckdienlich sein. Um die Vergleichung zu erleichtern, ist unter allen Umständen zu empfehlen, die wichtigeren Schnitte mittelst der Camera lucida zu skizziren und die einzelnen Bündel mit Buchstaben oder Ziffern zu bezeichnen.

Die Combination zusammengehöriger Längshälften 559
geschieht am besten in der Art, dass man dieselben mit den Schnittflächen nach oben gekehrt neben einander legt und wo es nöthig ist mit der Camera lucida skizzirt. Man achte hiebei darauf, dass die

unteren Enden der Stammhälften in beiden Skizzen in dieselbe Horizontale fallen, da alsdann auch die jüngsten Knoten im Internodium sich entsprechen müssen. Zur Controle ist es zweckmässig, durch das untere Ende des Stammes, bevor man denselben halbirt, einen oder mehrere Querschnitte zu führen, um dieselben mit den Längsansichten der untersten Internodien zu vergleichen. Das vollkommene Verständniss der Längsschnitte setzt natürlich voraus, dass man auf den letzteren alle im Querschnitte wahrnehmbaren Bündel wieder erkenne, sowie ferner, dass zu jedem durchschnittenen Bündel in der andern Hälfte die Fortsetzung gefunden werde.

Je schwieriger es ist, solche Längsschnitte durch Kochen in Kali durchsichtig zu machen, desto sorgfältiger müssen natürlich Blätter, Schuppen, Haare u. dgl. vorher entfernt werden. Seltener ist das Wegpräpariren der Rinde zu empfehlen, da man hiebei gar zu leicht die Gefässbündel verletzt. Ehe man irgend einen Druck auf die gekochten Schnitte anwendet, suche man alles Thatsächliche so weit als möglich festzustellen, um die Fragen, die noch zu lösen bleiben, zu präcisiren. Man prüfe alsdann, wie ein schwacher Druck auf die verschiedenen Stellen wirkt, weil es dadurch möglich wird, das Zerquetschen der weichen Partieen, bevor man sie untersucht hat, zu verhüten. Zuweilen trägt auch ein Umwenden der Schnitte dazu bei, gewisse Gefässbündel deutlicher zu machen.

560 Die Darstellung eines räumlich bestimmten Verlaufes der Blattspuren durch die Zeichnung lässt sich in verschiedener Weise denken. Man kann sich das ganze Gefässbündelnetz auf eine umhüllende Cylinderfläche projicirt, hierauf die letztere der Länge nach aufgeschnitten und in der Ebene des Papiers flach gelegt denken. Oder man kann sich die Stammspitze durchsichtig vorstellen und die Gefässbündel so wiedergeben, wie sie dem Auge unter dieser Voraussetzung perspectivisch erscheinen würden. Bei einer dritten Art der Darstellung endlich denkt man sich die Gefässbündel in einer Kegelfläche mit grosser Oeffnung und projicirt dieselben auf die Grundfläche des Kegels. Die Längslinien erscheinen alsdann als Radien und die Querschnitte als concentrische Kreise. Von diesen drei Projectionsarten sind jedoch die beiden letzteren nur für besondere Fälle zu empfehlen; in der Regel verdient die erste der grösseren Uebersichtlichkeit wegen den Vorzug.

561 Wir lassen nun einige Beispiele folgen, welche das besprochene Untersuchungsverfahren noch näher veranschaulichen sollen.

1) Die Stammspitze von *Iberis amara* zeigt auf Querschnitten das in Fig. 270 dargestellte Verhalten. Die Blätter besitzen je ein centrales Gefässbündel, welches an der Insertionsstelle in den Gefässbündelkreis des Stammes hereintritt. Die Blattdivergenz beträgt ziemlich genau $^5/_{13}$. Verfolgt man die hereingetretenen Stränge auf successiven Querschnitten, die man von Zeit zu Zeit mittelst der Camera lucida zeichnet, nach unten, so findet man, dass jeder Strang durch 10—11 Internodien heruntersteigt und sich dann ohne Ausnahme mit dem Strang des 5. unteren Blattes vereinigt, also 6 mit 1, 7 mit 2 u. s. f. Ueberdiess ergibt sich, wenn man in jedem Knoten die Winkelabstände der heruntersteigenden Blattspuren unter sich und im Verhältniss zu dem neu hereintretenden Strang vergleicht, noch folgendes Nähere über den Verlauf. Jedes Gefässbündel weicht zuerst nach der einen, dann nach der anderen Seite von der Verticallinie ab und beschreibt also bis zur Vereinigung mit dem fünftunteren ein lang gezogenes S. Der Gesammtverlauf der Blattspursympodien ist überdiess ein spiralig schiefer, und zwar ergiebt die Thatsache, dass der Strang des 14. Blattes, statt auf den senkrecht unter ihm befindlichen 1. zu treffen, sich nach dem 9. hinbewegt, eine Drehung von beinahe 3° auf jedes Internodium oder genauer 360° auf 65 Internodien. In Fig. 271 (s. S. 622) ist dieser Verlauf in der Cylinderprojection dargestellt.



Fig. 270.

2) Die Laubtriebe von *Euphorbia pilosa* besitzen spiralig gestellte Blätter mit einer Divergenz von c. $^5/_{13}$. Auf Durchschnitten durch die Knoten sieht man sogleich, dass von jedem Blatt 3 Stränge in den Gefässbündelkreis hereintreten, wovon jedoch zunächst der Stammspitze nur der mittlere entwickelt ist (Fig. 272). Bezeichnet man diesen mittleren Strang durchgehends mit a, die beiden seitlichen mit b und c, und setzt den Buchstaben die den Knoten entsprechenden Indices 1, 2, 3, 4 etc. bei, so findet man durch successive Querschnitte über dem 11. Knoten folgende Anordnung (Fig. 273). Die Mediansträngc $a_6, a_7 \ldots\ldots a_{10}$ sind noch isolirt und der Blattstellung entsprechend angeordnet, während die der oberen Knoten sich mit dem drittunteren Lateralstrang b vereinigt haben, also a_5 mit b_8, a_4 mit b_7 etc. Aehnliche Vereinigungen haben zwi-

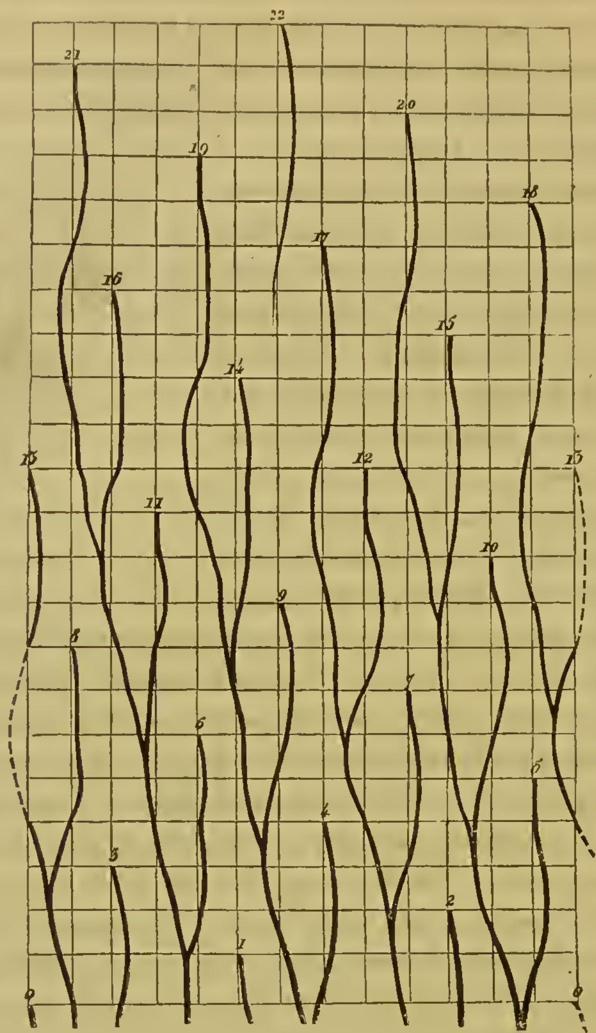


Fig. 271.

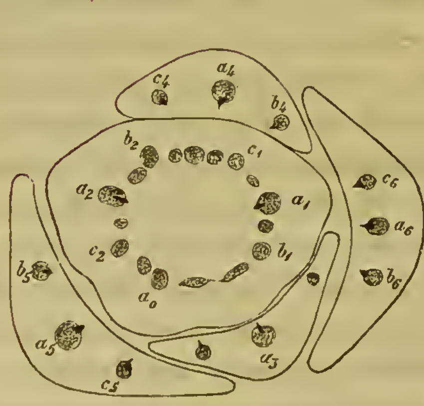


Fig. 272.

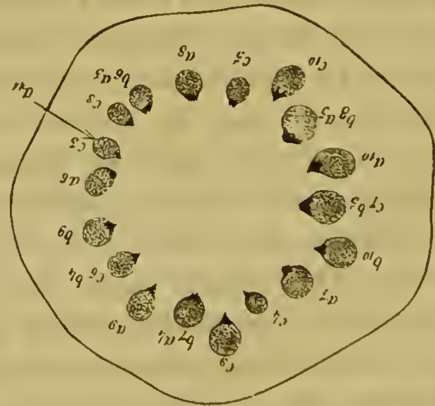


Fig. 273.

schen c_7 und b_5, c_6 und b_4 etc. stattgefunden. Die Verschränkung der Blattspuren betreffend, so kommt b constant zwischen a und c des zweitunteren, c zwischen a und b des drittunteren, endlich a zwischen a und c des fünftunteren Knotens zu liegen. Setzt man die

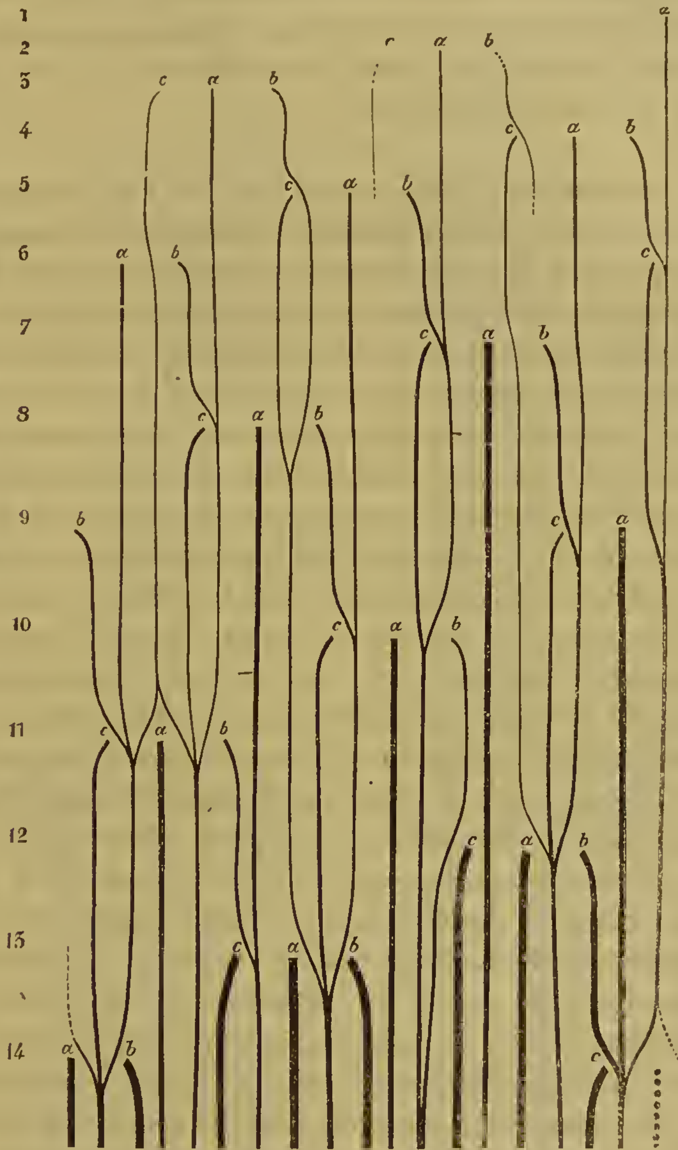


Fig. 274.

Schnitte noch ein Stück weiter fort, so spaltet sich das Bündel c_3, um das Medianbündel a_{11} in den Zwischenraum eintreten zu lassen.

Diese Verhältnisse genügen, um den Längsverlauf der Gefässbündel nicht bloss für die 10 oder 11 untersuchten Internodien, sondern auch für die nächstfolgenden bis zum 14. Knoten zu bestimmen,

womit bei der angenommenen Divergenz von $^5/_{13}$ die Reihe der vorkommenden Beziehungen abgeschlossen ist. Denn wie sich c_3 gegen a_{11} verhält, so muss — natürlich unter der Voraussetzung eines gesetzmässigen Verlaufes — auch c_6 gegen a_{14} sich verhalten. Mit c_6 steht aber b_4 und mit diesem a_1 in Verbindung, dessen Verhalten zu dem senkrecht darunter befindlichen a_{14} folglich gegeben ist. — Die schematische Darstellung dieses Längsverlaufes in der Cylinderprojection ist in Fig. 274 gegeben.

562 Von der nämlichen Pflanze ist in Fig. 275 ein Längsschnitt dargestellt. Die beiden in Kali gekochten Stammhälften liegen mit den Schnittflächen nach oben gekehrt neben einander. Da die Knoten in der Stammspitze sehr genähert und die Blätter überdiess ungleich kurz abgeschnitten sind, so ist eine sorgfältige Vergleichung nothwendig, um die Nummern der Blattspuren in der Zeichnung bis zu den obersten noch wahrnehmbaren Bündeln richtig anzusetzen; doch machen es die im unteren Theil der Figur ausgesprochenen Beziehungen, combinirt mit den Blattstellungsverhältnissen, möglich, diese Operation in der Weise, wie es in der Figur geschehen, auszuführen. Es bleibt also nur noch übrig, jedes einzelne Bündel nach unten zu verfolgen, bis es sich an ein anderes ansetzt, wobei allerdings die am Rande liegenden Bündel, weil sie meistens durchschnitten sind, nicht selten aus zwei bis drei Stücken, die abwechselnd in der rechten und linken Hälfte liegen, zusammenconstruirt werden müssen. So ist z. B. b_5 in unserer Figur im Knoten 8 durchschnitten; der obere Theil liegt in der linken, der untere in der rechten Hälfte. Dasselbe gilt vom Medianstrang a_2, welcher ungefähr in der Höhe des fünften Knotens durchschnitten wurde; ferner von b_{10} und a_7, deren gemeinsame Fortsetzung vom 9. Knoten an ebenfalls im andern Längsschnitt zu suchen ist. Der Strang b_{10} scheint nach der Zeichnung links von c_{12} zu verlaufen, allein er liegt in einem höheren Niveau und daher in Wirklichkeit rechts. Solche Verhältnisse kommen öfter vor, namentlich wenn die Schnitte gequetscht werden, und es ist desshalb immer wichtig, auf die Niveauverschiedenheiten der Blattspuren genau zu achten.

3. Entwicklung der Gefässbündel.

563 Die successiven Querschnitte durch die Terminalknospe und noch besser die halbirten Stammspitzen bieten zugleich die nöthigen Anhaltspunkte, um die Entwicklung der Gefässbündel zu

verfolgen. Man sieht ohne Weiteres, ob die Median- oder die Lateralbündel der Blattspur zuerst auftreten, ob sie in ihrem Verlaufe nach unten stärker oder schwächer werden oder ganz verschwinden etc. Diese Beobachtungen beziehen sich indess nur auf die Bildung

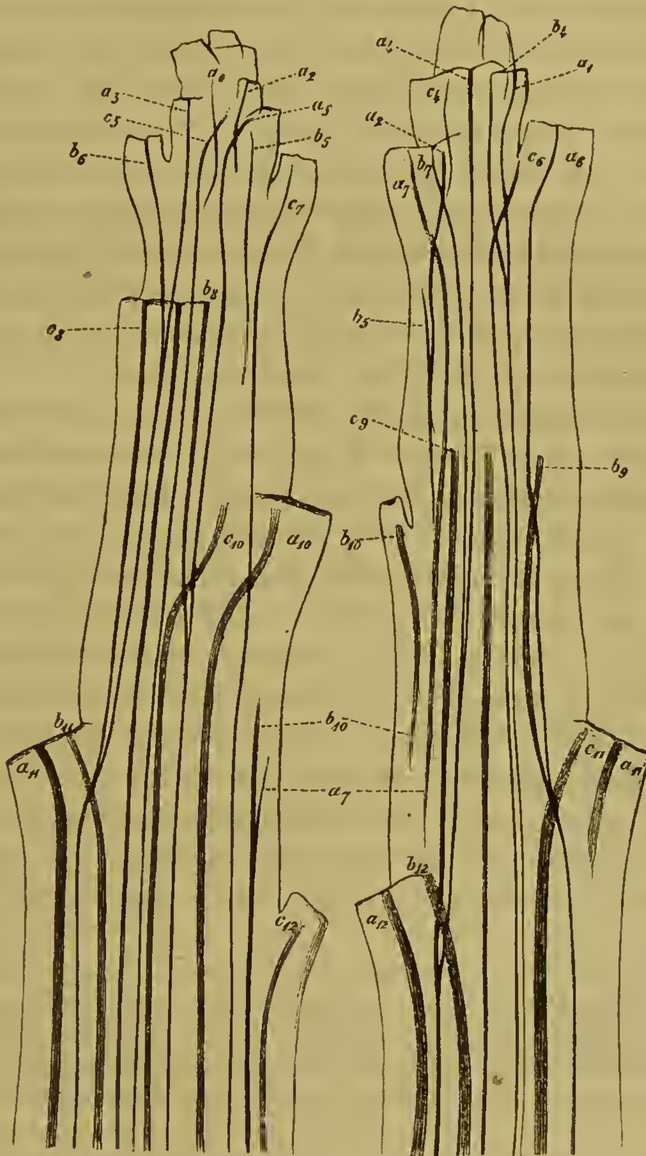


Fig. 275.

der ersten Ring- oder Spiralgefässe, und es wäre denkbar, dass die Entwicklungsfolge der Cambiumpartieen nicht genau mit der späteren Gefässbildung übereinstimmte. Das Cambium selbst zu verfolgen ist in der grossen Mehrzahl der Fälle nicht möglich.

Die Antwort auf die oben erwähnte Frage, ob die Gefässbündel vom Stamme in die Blätter hinauswachsen oder umgekehrt von diesen in jenen herein, lässt sich sowohl nach Querschnitten als nach Längsansichten durchsichtiger Stammenden leicht feststellen. Die Beobachtung lehrt, dass das erste Gefäss einer Blattspur in der Blattbasis zur Entwicklung kommt und von da nach unten in den Stamm und nach oben in das Blatt hinein sich verlängert. Man sieht namentlich auf Längsschnitten sehr schön, dass das oberste Gefässführende Blatt beispielsweise ein aus 2 — 3 Zellen zusammengesetztes Gefässstück, das nächst untere ein etwas längeres, welches mitten im Parenchym verschwindet, das drittuntere endlich ein Gefässbündel besitzt, das sich in gesetzmässiger Weise mit einem andern vereinigt. Zuweilen kommt es auch vor, dass der untere Theil eines Spurstranges zunächst der Ansatzstelle fast gleichzeitig mit dem oberen angelegt wird, das mittlere Stück also zuletzt erscheint. *)

Die entschieden umgekehrte Entwicklungsweise, wobei die Gefässbündel von ihrer unteren Ansatzstelle nach oben wachsen und dann in das entsprechende Blatt ausbiegen, scheint bei Phanerogamen nur selten vorzukommen. Wir beobachteten sie bis jetzt nur bei *Begonia dipetala*, hier jedoch in so ausgeprägter Weise, dass man schon nach wenigen Schnitten durch die Terminalknospe darauf aufmerksam wird, indem immer neue Bündel, die der Stellung nach den höheren Blättern entsprechen, zwischen den schon vorhandenen auftreten. Für die Kryptogamen liefert *Marsilea* (Nägeli, Beiträge I. Taf. 1) ein hieher gehöriges Beispiel, und allem Anschein nach verhalten sich noch manche andere Repräsentanten ebenso. Sicher ist, dass von unten nach oben wachsende Gefässbündel fast bei allen Kryptogamen vorkommen; allein es ist in manchen Fällen zweifel-

---

*) Dass Schacht auf seinen »äusserst zarten Längsschnitten« dergleichen Dinge nicht gesehen hat (vgl. Mikroskop 3. Aufl. p. 146), ist begreiflich; denn solche Schnitte sind am allerwenigsten geeignet, über die fraglichen Verhältnisse Aufschluss zu geben. Die Sache ist aber nichtsdestoweniger sehr einfach. Es handelt sich hier in der That nicht etwa um schwierige Objecte, die leicht zu Täuschungen Veranlassung geben, sondern einzig und allein um eine verständige Untersuchungsmethode. Jeder, der sich die Mühe nimmt, 5 — 10 m. m. lange, noch im Wachsthum begriffene dünne Stammspitzen krautartiger Pflanzen zu halbiren und die beiden Hälften je nach Umständen mit schwächerer oder stärkerer Kalilösung auf dem Objectträger zu behandeln, erforderlichen Falls auch auf dem Objectträger zu erhitzen und bei angemessenem Druck auf das Deckgläschen zu beobachten, wird sich von der Richtigkeit der obigen Darstellung leicht überzeugen.

haft, ob diese Bündel wirklich Blattspuren darstellen, d. h. der Reihe nach in die successiven Blätter ausbiegen, oder ob sie vielleicht stammeigen sind, d. h. im Stamme bleiben und hier unausgesetzt nach oben wachsen. Stammeigene Bündel sind nämlich nur dann mit Sicherheit zu erkennen, wenn sie über die Ansatzstellen der untersten gefässlosen Blätter hinaufreichen. Sind z. B. *A* und *B* (Fig. 276) die obersten Gefäss-führenden Blätter einer Stammspitze, so müssen die zwei im Stamme verlaufenden Bündel *s* und *t*, an welche die Blattspuren sich ansetzen, ungefähr bis *n* und *o* hinaufreichen, wenn sie sich als stammeigen erweisen sollen, oder es müssen wenigstens die Blattspuransätze für *C* und *D*, wenn bei *x* und *y* bereits solche vorhanden sind, sich entschieden als spätere seitliche Bildungen herausstellen. Gehen die stammeigenen Bündel nur bis *p* und *q*, so bleibt die Sache zweifelhaft, da sie ja immer noch nach *C* und *D* ausbiegen könnten, in welchem Falle sie natürlich als Blattspuren zu deuten wären. Gerade diesem letzteren Stadium begegnet man aber bei manchen Kryptogamen am häufigsten, und wir glaubten um so eher darauf aufmerksam machen zu müssen, als dasselbe von Unger irrthümlich als Beleg für die Stammeigenheit angeführt und abgebildet wurde.

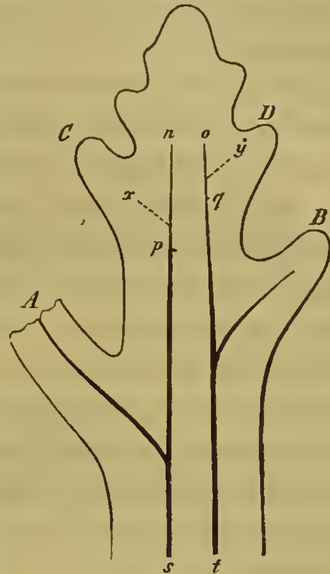


Fig. 276.

So lange man keine entscheidenden Stadien beobachtet hat, müssen die Untersuchungen fortgesetzt werden, da möglicherweise andere Stammspitzen sich günstiger erweisen. Sollte es sich herausstellen, dass die Blattspuransätze durchweg gleichzeitig mit der nach oben gehenden Fortsetzung angelegt werden, ohne dass sich entscheiden liesse, welcher der beiden Zweige den Stammstrahl bildet, dann ist eine Lösung der Frage durch directe Beobachtung gar nicht möglich.

Ist die Art und Weise, wie die einzelnen Gefässbündel im 564
Stamme angelegt werden und in der Längsrichtung sich fortentwickeln, festgestellt, so kann noch die weitere Frage in Betracht kommen, wie die Entwicklung der Gefässbündel im Querschnitt vor sich gehe und ob vielleicht ein und dasselbe Bündel sich in verschie-

denen Höhen ungleich verhalte. Es ist klar, dass die successiven Querschnitte auch über diesen Punkt Aufschluss geben; ja es genügt eigentlich schon die genaue Betrachtung eines einzigen Querschnittes, um allfällige Verschiedenheiten zwischen den Blattspuren der nächst oberen und denjenigen der höheren Knoten festzustellen. Denn es lässt sich voraussehen, dass die eben hereingetretenen Blattspuren sich tiefer unten im Stamme gerade so verhalten werden wie diejenigen, welche bis zum Niveau der Schnittfläche bereits eine entsprechende Zahl von Internodien durchlaufen haben. Die Vergleichung der verschiedenen Blattspuren im Querschnitt muss also dieselben Ergebnisse liefern, wie das Verfolgen einer bestimmten Blattspur durch die successiven Internodien.

Als Beispiel einer merklichen Verschiedenheit des Querschnittes im obern und untern Theil der Blattspuren mag hier die Palmengattung *Chamaedorea* Erwähnung finden. Die Veränderungen im Bau der Spurstränge, welche bei dieser Pflanze vorzugsweise in die Augen fallen, bestehen darin, dass der obere Theil viel Holz (Xylem) mit Spiralgefässen und wenig Bast, der untere dagegen wenig Holz mit porösen Gefässen und viel Bast besitzt. Wenigstens gilt diess für die inneren Stränge, welche tief in das Mark eindringen; die Verschiedenheit ist um so geringer, je mehr sie der Rinde genähert bleiben.*)

*) Vgl. Nägeli, Beiträge z. wiss. Bot. I, S. 19 u. 132.

Preisverzeichnisse
der neueren Mikroskopverfertiger.

Nr. 1.

E. Hartnack, Nachfolger von **G. Oberhäuser** in Paris, Place Dauphine 21.*)

(Preise in Francs.)

1864.

A. Preise der Mikroskope.

1. Achromatisches Mikroskop No. 1 mit zwei Linsensystemen und 2 Ocularen, Vergrösserungen von 50, 65, 220—300. Mit einer Linse zur Beleuchtung opaker Gegenstände, 12 Glasplatten, Messingpinzette, Skalpell und Präparirnadeln in verschliessbarem Mahagonikästchen . . . . 100 Fr.
   Dasselbe Instrument mit drei anderen Linsensystemen und einem Ocular, um 600fache Vergrösserung zu erhalten . . . . 150 Fr.
2. Achromatisches Mikroskop No. 2, coudirt mit einem breiteren Objecttisch und drehbarem Diaphragma, Vergrösserungen von 50, 65, 220—300 in einem ähnlichen Kästchen . . . . 115 Fr.
   Um Vergrösserungen bis zu 660 zu erhalten . . . . 165 Fr.
3. Achromatisches Mikroskop mit kleinem Trommelstativ, feststehendem und breiterem Objecttisch, Vergrösserungen von 50, 65, 220—300 mit drehbarem Diaphragma, in ähnlichem Kästchen . . . . 140 Fr.
   Um Vergrösserungen bis zu 600 zu erhalten . . . . 190 Fr.

3. a. Achromatisches Mikroskop No. 3 A, ähnlich dem obigen Instrumente, aber mit einem hufeisenförmigen Fusse und einem Gelenke zum Schiefstellen; Vergrösserungen von 50, 65, 220 und 300 . . . . 155 Fr.
   Um Vergrösserungen bis zu 600 zu erhalten. . . . . 205 Fr.

4. Achromatisches Mikroskop No. 4; Vergrösserungen von 50, 65, 220—300, mit drehbarem Tische (schwarzer Glastafel), Cylinderblendungen und Beleuchtungslinse für opake Objecte in Mahagonikästchen . . . . 300 Fr.
   Mit drei anderen Linsensystemen und einem Ocular um Vergrösserungen bis zu 600 zu erhalten . . . . 360 Fr.
5. Achromatisches Mikroskop, grosses Stativ No. 5; Vergrösserungen 50, 65, 150, 172, 220 und 300 mit drehbarem Tisch (schwarzer Glastafel), Cylinderblendungen, Beleuchtungslinse, in Mahagonikästchen. 340 Fr.
   Mit drei anderen Linsensystemen und einem Ocular, um Vergrösserungen bis zu 600 zu erhalten . . . . 400 Fr.
6. Achromatisches, bildumkehrendes Dissektionsmikroskop, mit grosser Fokaldistanz, um darunter zu arbeiten; Vergrösserungen ohne Linsen- und Ocularwechsel von 10—100, mit drehbarem Glasplatten-Tisch, in Mahagonikasten. . . . . 250 Fr.
7. Neues, grosses Stativ, dessen dioptrische und mechanische Construction wesentlich von dem älteren grossen (Oberhäuser'schen) Gestell abweicht.

*) Für das südwestliche Deutschland und die Schweiz sind Hartnack'sche Instrumente durch den Optiker Th. Ernst in Zürich zu beziehen.

Dieses ganz neu hergestellte Instrument bietet Vortheile dar, welche mit dem früheren Stativ nicht zu erhalten waren.

Es besteht aus 5 Linsensystemen, von denen eines mit Immersion und Correctionsapparat, und 5 Ocularen, eines darunter mit Mikrometer. Die Vergrösserungen dieser Systemreihen und Oculare erlauben alle wissenschaftlichen Arbeiten.

Zu diesem Instrumente gehört eine grosse Beleuchtungslinse für opake Objecte; ferner die nothwendigen Hilfsapparate, Glasplatten, Scheibe mit farbigen Gläsern, alles enthalten in einem Mahagonikasten. . . . . 750 Fr.

Dasselbe Stativ mit einem Charnier, welches schiefe Stellung gestattet . . 800 Fr.

8. Neues kleineres Gestell, dessen Einrichtung dieselben Vortheile darbietet, wie No. 7, mit Ausnahme des drehbaren Objecttisches, mit 3 Linsensystemen und 3 Ocularen; Vergrösserungen 50—600 . . . . 275 Fr.

Dasselbe Stativ mit drei Linsensystemen, von welchen eines mit Immersion und Corrections-Apparat und drei Ocularen, eines derselben mit Mikrometer . . . 390 Fr.

Mit einem Charnier zur Schiefstellung erhöht sich der Preis des erwähnten Stativs um weitere 50 Fr.

Mikroskope »pour hospices« mit 300facher Vergrösserung . . . . 60 Fr.

Dasselbe Instrument mit breiterem Objecttische, ähnlich dem Stativ No. 2 65 Fr.

Ein neuer beweglicher Mikrometer kann bei allen diesen Instrumenten gebraucht werden. Derselbe zeigt mit grosser Genauigkeit, ohne dass eine Veränderung der Einrichtung vorgenommen werden muss, $^1/_{10000}$ Mm. . . . . 50 Fr.

NB. Der Polarisationsapparat gestattet bei seiner Einrichtung eine Anwendung für die Instrumente von No. 3 an bis zu No. 8.

B. Einzelpreise der Linsensysteme (welche man nach Bedürfniss an jedem Stative verwenden kann) und der sonstigen Apparate.

Systeme älterer Construction.

System No. 1 mit dem mittleren Ocular vergrössert	20	12 Fr.
,, ,, 2 ,, ,, ,, ,, ,,	40	20 ,,
,, ,, 3 ,, ,, ,, ,, ,,	50	20 ,,
,, ,, 4 ,, ,, ,, ,, ,,	65	20 ,,
,, ,, 5 ,, ,, ,, ,, ,,	100	30 ,,
,, ,, 6 ,, ,, ,, ,, ,,	200	35 ,,
,, ,, 7 ,, ,, ,, ,, ,,	300	35 ,,
,, ,, 8 ,, ,, ,, ,, ,,	400	40 ,,
,, ,, 9 ,, ,, ,, ,, ,,	500	60 ,,

Neue Systeme mit grösserem Oeffnungswinkel.

System No. 1 mit dem mittleren Ocular vergrössernd	20	15 Fr.
,, ,, 2 ,, ,, ,, ,, ,,	40	20 ,,
,, ,, 3 ,, ,, ,, ,, ,,	50	25 ,,
,, ,, 4 ,, ,, ,, ,, ,,	100	30 ,,
,, ,, 5 ,, ,, ,, ,, ,,	160	35 ,,
,, ,, 6 ,, ,, ,, ,, ,,	240	35 ,,
,, ,, 7 ,, ,, ,, ,, ,,	300	40 ,,
,, ,, 8 ,, ,, ,, ,, ,,	420	50 ,,
,, ,, 9 ,, ,, ,, ,, ,,	550	75 ,,

Neues Immersionssystem mit Correctionsapparat No. 9; Vergrösserung mit dem mittleren Ocular 650	150 Fr.
Neues Immersionssystem mit Correctionsapparat No. 10; Vergrösserung mit dem mittleren Ocular 750	200 ,,
Neues Immersionssystem mit Correctionsapparat Nr. 11; Vergrösserung mit dem mittleren Ocular 850	250 ,,
Dujardin'scher (achromatischer) Beleuchtungsapparat	50 ,,
Mikrometer, den Millimeter in 100 getheilt	20 ,,
,, ,, ,, ,, 500 ,,	20 ,,
,, ,, Centimeter ,, 100 ,,	20 ,,
Camera lucida von Oberhäuser (zugleich das Mikroskop in ein horizontales umwandelnd)	50 ,,
Camera lucida von Milne-Edwards und Doyère	50 ,,
Jedes Ocular	10 ,,
Ocular mit Stellschraube	25 ,,
,, ,, gewöhnlichem Glasmikrometer	25 ,,

Beweglicher Objecttisch	25 Fr.
Mikrophor von Strauss	20 ,,
Einfaches Compressorium	20 ,,
Compressorium von Quatrefages	30 ,,
,, ,, Mandl	40 ,,
,, ,, Maissiat und Thuret	35 ,,
Lupen	5—14 ,,
Polarisationsapparate	50—70 ,,
Goniometer	60 ,,
Glasplatten (Dutzend)	2 ,,
Dünne Deckgläschen (Dutzend)	1 ,,

Die Stative No. 1, 2, 3, 3 a sind mit Systemen älterer Construction versehen; die anderen Gestelle haben neue Systeme.

Nr. 2.

Nachet & Sohn in Paris, Rue St. Severin 17.

(Preise in Francs.)

1863.

1. Grosses Mikroskop mit verbessertem Stativ. An der horizontalen Axe aufgehängt, um eine Schiefstellung und Fixirung in jeder Position zu gestatten. Die gröbere Einstellung durch ein in der vierkantigen Stange verborgenes Triebwerk, die feinere durch eine an der Mitte des Rohres angebrachte Mikrometerschraube geschehend. Der Mechanismus letzterer Bewegung besteht in einer doppelten inneren Röhre, an welche die Objective angeschraubt werden und wo sie durch den beim Berühren des Objectes stattfindenden Widerstand aufsteigen können. Die gleiche federnde Röhre kann durch eine in der Mitte angebrachte Stellschraube und kleine Hebelvorrichtung fixirt werden. Das ganze Rohr in der Hülse drehbar. Drehbarer mit Glas eingelegter Objecttisch, mit einer durch eine Schraube beweglichen Vorrichtung zum Verschieben des Präparates, welches überdiess durch Federklemmen gehalten werden kann. Ebener und concaver Spiegel mit einer Beweglichkeit für Anwendung der schiefen Beleuchtung. Eine zwischen Spiegel und Tisch befindliche, senkrecht verstellbare und mit einem Hebel versehene Vorrichtung gestattet die Diaphragmen zu verändern und den Condensor mit grosser Schärfe in den Focus zu bringen. Vorrichtung, um den Glasmikrometer in jedes Ocular einzulegen; jener lässt sich durch eine kleine Schraube in den Focus bringen und nach den verschiedenen Stellen des Sehfeldes bewegen. Acht Objectivsysteme mit Correctionsvorrichtung von No. 0—7 und Vergrösserungen von 30—1500 linear, 3 Oculare. Goninometer, Camera lucida, Polarisationsapparat mit Gypsplatten, Condensor, Ocular und Objecttischmikrometer. Beleuchtungslinse für opake Gegenstände; übrige Präparationsbedürfnisse, wie Glasplatten und feine Deckgläschen; anatomische Instrumente, wie Nadeln, Scalpelle, Scheeren, feine Pincette etc. Das ganze Instrument ist in einem starken, äusserlich mit messingenen Ecken und innen mit Sammtüberzug versehenen Kasten enthalten, und die Linsensysteme überdiess in einem Maroquin-Etuis . . . 1300 Fr.
2. Grosses Mikroskop. Befestigung an der Axe und drehbarer mit eingelegtem Glas versehener Objecttisch, wie bei No. 1. Gröbere Einstellung durch Verschiebung des Rohres in der Hülse, feine durch eine Mikrometerschraube; beweglicher Träger der Diaphragmen und des Condensor; ebener und concaver Spiegel mit freier Beweglichkeit für schiefe Beleuchtung. Mikrometer durch eine Vorrichtung in jedes Ocular einfügbar; 3 Oculare, 6 gewöhnliche Linsensysteme, No. 0, 1, 2, 3, 5, 7 mit Vergrösserungen von 30—1300. Camera lucida, Objecttischmikrometer, Beleuchtungslinse, Präparationswerkzeuge etc., Mahagonikasten mit messingenen Ecken etc. . . 600 Fr.
3. Grosses vertikales Stativ mit drehbarem Tisch, doppelter Bewegung zum Einstellen, einem Apparat zum Tragen und Auswechseln der Blendungen und Beleuchtungsvorrichtungen, Glasmikrometer, durch eine Vorrichtung in jedes Ocular einzuführen, Objecttischmikrometer. Fünf gewöhnliche Linsensysteme, No. 1, 2, 3, 5 und 7, welche mit 3 Ocularen Vergrösserungen von 70—1300 ergeben. Camera lucida, Präparationswerkzeuge etc., in einem Kasten mit Handhabe . . . 500 Fr.

4. Mittleres, schief zu stellendes Stativ, etwas kleiner als das vorhergehende; in Drehtisch, Einstellungs- und Beleuchtungsvorrichtungen dem vorigen ganz ähnlich, mit denselben Linsensystemen und Ocularen etc., Beleuchtungslinse und einem Kasten mit Handhabe . . . . 420 Fr.
5. Mittleres, vertikales Mikroskop, ähnlich dem Instrumente No. 3, mit einfachem Mikrometerocular und Objecttischmikrometer, einer Beleuchtungslinse, in einem Kasten mit Handhabe . . . . 380 Fr.
6. Kleines, schief zu stellendes Mikroskop mit frei beweglichem Spiegel, einer Drehscheibe als Diaphragma, 2 gewöhnlichen Linsensystemen, No. 1 und 3, mit zwei Ocularen; Vergrösserungen von 30—380, Beleuchtungslinse etc. . . . . . 150 Fr.
   Dasselbe Instrument mit den Linsensystemen No. 1, 3 und 5, sowie 3 Ocularen und einer Vergrösserung bis zu 600 . . . . 200 Fr.
7. Kleines, vertikales Mikroskop, mit frei beweglichem Spiegel, 2 Linsensystemen No. 1 und 3, zwei Ocularen und einer Beleuchtungslinse etc. . . . . 125 Fr.
   Dasselbe Instrument mit 3 Systemen und 3 Ocularen, um Vergrösserungen bis zu 600 zu gewinnen . . . . 175 Fr.
   Cylinder für Blendungen und Condensor in den Tisch der beiden Instrumente einfügbar . . . . 10 Fr.
8. Drehbarer Tisch für die beiden letzten Instrumente . . . . 25 Fr.
9. Einfaches kleines Mikroskop (Trommelgestell), mit einem Ocular und einer schwachen, sowie dem System No. 3 mit einer bis 300 gehenden Vergrösserung . . . . 70 Fr.
10. Binoculäres stereoskopisches Mikroskop, mit einem schief zu stellenden Stativ, zwei verstellbaren Röhren, grober und feiner Bewegung, 3 Systemen No. 0, 1 und 3. 500 Fr.
11. Binoculäre stereoskopische Vorrichtung, um an älteren Instrumenten angebracht zu werden, mit verstellbaren Röhren und 2 Ocularen . . . . 150 Fr.
   Dieselbe Einrichtung mit einem ähnlichen, aber etwas stärkeren Stativ wie No. 6, 3 Systemen und 2 Ocularen etc. . . . . 350 Fr.
12. Stereoskopische und pseudoskopische binoculäre Vorrichtung . . . . 225 Fr.
13. Mikroskop mit zwei Röhren zur Beobachtung für zwei Personen, mit 3 Objectivsystemen, Beleuchtungslinse etc. . . . . 300 Fr.
14. Vorrichtung derselben Art mit 2 Röhren, um an gewöhnliche Instrumente angebracht zu werden, nebst 2 Ocularen (aber ohne Linsensysteme) . . . . 80 Fr.
15. Mikroskop mit 3 Röhren, grober und feiner Bewegung, 3 Linsensystemen, No. 0, 1 und 3 etc. . . . . 400 Fr.
16. Umgedrehtes Stativ für Chemiker, mit vergoldetem Objecttisch, 4 Linsensystemen, No. 0, 1, 3 und 5, einem Ocular, einem beweglichen Ocularmikrometer, einem Goniometer, um die Winkel von Krystallen zu messen, und sonstigem Zubehör . . 350 Fr.
17. Taschenmikroskop (90 Mm. lang und 50 Mm. breit) mit den Linsensystemen No. 1, 3 und 5, einem Ocular etc. . . . . 200 Fr.
18. Dissections- und Observations-Mikroskop (auch als einfaches Mikroskop verwendbar), mit den Objectivsystemen 1 und 3, einem Ocular und 3 Doublets von verschiedener Stärke etc. . . . . 140 Fr.
19. Stativ des vorhergehenden Instrumentes, nur als einfaches Mikroskop verwendbar, mit 3 Doublets etc. . . . . 50 Fr.
20. Dissectionsmikroskop . . . . 120 Fr.
21. Photographir-Mikroskope . . . . 300 Fr.

B. Einzelpreise der Linsensysteme und sonstigen Apparate.

22. Gewöhnliche Linsensysteme (ohne Correctionsrichtung).

No. 0 — 15 Fr.
,, 1 — 20 ,,
,, 2 — 20 ,,
,, 3 — 25 ,,
,, 4 — 30 ,,
,, 5 — 35 ,,
,, 6 — 50 ,,
,, 7 — 80 ,,

23. Linsensysteme mit Correctionsapparat.

No. 3 — 50 Fr.
,, 4 — 60 ,,
,, 5 — 75 ,,
,, 6 — 100 ,,
,, 7 — 125 ,,

24. Gewöhnliche Immersionssysteme.

No. 5 — 50 Fr.
,, 6 — 60 ,,
,, 7 — 100 ,,

25. Immersionssysteme mit Correctionsapparat.

No. 5 — 80 Fr.
,, 6 — 120 ,,
,, 7 — 150 ,,
,, 8 — 200 ,,

(Die linearen Vergrösserungen der einzelnen Systeme mit den verschiedenen Oculaen gestalten sich im Allgemeinen, wie folgt: No. 0 25 55, No. 1 80 150, No. 2 125—290, No. 3 200—420, No. 4 280—500, No. 5 300—600, No. 6 450—900, No. 7 560—1350, No. 8 650—1500.)

26. Einfaches Mikroskop . . . . 60 Fr.
27. Einfaches stereoskopisches Mikroskop . . . . 60 ,,
28. Grösserer Lupenträger . . . . 40 ,,
29. Kleinerer Lupenträger . . . . 15 ,,
30. Derselbe ohne Triebrad . . . . 8 ,,
31. Brücke'sche Lupe . . . . 15 ,,
32. Doublets, 20 - 5 Mm. Focallänge . . . . 6 ,,
Dieselben mit einem Focus von 5 - 2 Mm. . . . . 10 ,,
33. Objecttischmikrometer in Messing gefasst, der Millimeter in 100 Theile . . 10 ,,
34. Derselbe, den Millimeter 500fach getheilt . . . . 20 ,,
35. ,, ,, ,, 1000fach ,, ... 30 ,,
36. Camera lucida (eigenthümlicher Construction) . . . . 25 ,,
37. Gewöhnliche Camera lucida . . . . 18 ,,
38. Bildumkehrendes Prisma . . . . 25 ,,
39. Dasselbe verbessert und mit einem Ocular versehen . . . . 35 ,,
40. Revolvervorrichtung, zum schnellen Wechseln der Linsensysteme . . . . 25 ,,
41. Condensor für gerade Beleuchtung . . . . 25 ,,
42. ,, für schiefes Licht . . . . 15 ,,
43. Amici'sches Beleuchtungsprisma . . . . 25 ,,
44. Beleuchtungsvorrichtung auf schwarzem Grunde . . . . 15 ,,
45. Polarisationsapparat mit zwei Nicols . . . . 40 ,,
46. Goniometer . . . . 25 ,,
47. Compressorium. . . . . 25 ,,
48. Oculare . . . . 10 ,,
49. Mikrometer-Ocular . . . . 15 ,,
50. Handlupe . . . . 8 ,,
51. Grosse Lupen von schwacher Vergrösserung . . . . 8—12 ,,
52. Coddington'sche Lupe etc . . . . 5 ,,

No. 3.

Simon Plössl in Wien, Wieden, Theresianumgasse No. 12.

(Preise zu österreichischer Währung.)

1863. *)

1. Lupe nach Wilson, mit einer Linse in messingener Fassung . . . . . 1 fl. 48 kr.
2. Derlei aplanatisch aus zwei achromatischen Linsen von 6- bis 25maliger Vergrösserung . . . . 5 fl. — kr.
3. Derlei mit zwei Linsen, mit Deckeln . . . . 3 ,, — ,,
4. Einfache Lupe, in Büffelhorn gefasst . . . . 1 ,, 24 ,,
5. Derlei doppelte . . . . 2 ,, 20 ,,
6. Derlei dreifache . . . . 3 ,, — ,,
7. Lupe, in Büffelhorn gefasst, mit gläsernem Lieberkühn'schen Spiegel 3 ,, 20 ,,
8. Aplanatische Lupe, aus zwei achromatischen Linsen zusammengesetzt, von 1″ bis 2″ im Durchmesser, von 3- bis 6maliger Vergrösserung, in Messing gefasst, in Futteral von Maroquin . . . . 5—9 fl. — kr.
Baumgartner's und von Ettingshausen's Zeitschrift, Bd. VIII. S. 189.
9. Derlei aus zwei achromatischen Linsen von ½″ bis 1″ im Durchmesser, zum Auseinanderschieben, um sie auch einzeln zu gebrauchen (wie Doppel-Lupen), von 6- bis 16maliger Vergrösserung, in Elfenbein gefasst . . . . 5 fl. — kr.
10. Botanisches Handmikroskop mit 3 Linsen, mit Lieberkühn'schen Spiegeln, auf messingenem Griffe, Objectnadel, Messerchen und Nadel mit elfenbeinernen Heften und Pincette, in Futteral von Maroquin . . . . 15 fl. — kr.

*) Wurde uns 1866 als neuestes Preisverzeichniss eingesendet.

11. Derlei mit elfenbeinernem Griffe, einer Linse mit Lieberkühn'schem Spiegel, einer Lupe und Objectnadel, in Futteral von Maroquin . . . . 6 fl. 30 kr.
12. Derlei mit schildkrötenem Griffe . . . . 8 „ — „
13. Pincette, Messerchen und Nadel dazu . . . . 1 „ 20 „

---

1. Grosses zusammengesetztes Mikroskop, dessen Körper durch Triebwerk gegen den feststehenden Objecttisch bewegt wird und einer Mikrometerschraube zur höchst feinen Einstellung bei den starken Vergrösserungen, auf messingenem Postamente, auf welchem sich auf einem Arme das Mikroskop in seiner Axe bewegen lässt, mit drei Ocularen und neun achromatischen Linsen; der starke Linseneinsatz ist so eingerichtet, dass derselbe mit oder ohne Deckgläser gebraucht werden kann. Der Objecttisch mit zwei Klammern für Objectträger und Glastafeln aller Art; einem gläsernen concaven Reflexionsspiegel zur transparenten Beleuchtung auf einem beweglichen Doppelarme, um auch unter jedem beliebigen Winkel beleuchten zu können, der schwarzen Rückseite desselben, und einem sphärischen Beleuchtungsprisma (nach Selligue) mit Bewegung, zur Beleuchtung opaker Objecte. Einer grossen Lichtverstärkungslinse (bei Lampenlicht anzuwenden) auf besonderem Fusse zur Verstärkung der Beleuchtung bei stärkeren Vergrösserungen sowohl transparenter als opaker Objecte; einem concaven Glase für Flüssigkeiten, einer messingenen Wilson'schen Lupe und einer messingenen Pincette, dazu noch zwei auf Glas getheilte Mikrometer mit Theilungen der Wiener Duodecimallinie in 30 und 60 Theile, oder des Millimeters in 25 und 50 Theile, in messingener Einfassung, und sind in das Ocular No. 2 einzuschieben und mittelst einer daran angebrachten Schraube zum Einstellen für das Auge vorgerichtet. Alles in einem hölzernen polirten Kasten mit Schloss, beiläufig 14″ lang, 9″ breit und 5½″ hoch, mit Sammt gefüttert. Die Vergrösserungen gehen von 25mal bis zu 500mal linear, oder 625mal bis 250,000mal der Fläche, mit vollständiger Klarheit und Schärfe, zusammen um . . . . 207 fl. — kr.
   Zu obigem Mikroskop einen Linseneinsatz, der mit dem No. 2 Ocular eine 700malige Linearvergrösserung gibt . . . . 63 fl. — kr.
   Ein solches Mikroskop mit der Vorrichtung zum Messen der Objecte bis auf 0,00001 Par. Zoll linear, mittelst Mikrometerschraube nach Frauenhofer . 302 fl. — kr.
   Ein aplanatisches Ocular aus zwei achromatischen Linien, mit schwacher Vergrösserung von 10—12mal, um besonders opake Objecte mit höchster Schärfe zu sehen . . . . 10 fl. 50 kr.
   Ein Prisma zu diesem Mikroskope zum Horizontaleinsehen und zum Zeichnen 15 fl. 75 kr.
2. Kleines zusammengesetztes Mikroskop, dessen Körper durch Triebwerk gegen den feststehenden Objecttisch bewegt wird, auf messingenem Postamente, mit 2 Ocularen aus einfacher Linse und Collectivglas bestehend, zum Aufstecken, und sechs achromatischen, aplanatischen Linsen. Der starke Linseneinsatz ist so eingerichtet, dass derselbe mit und ohne Deckgläser gebraucht werden kann. Der Objecttisch mit zwei Klammern für Objectträger und Glastafeln aller Art; einem gläsernen concaven Reflexionsspiegel zur transparenten Beleuchtung, auf einem beweglichen Doppelarme, um auch unter jedem Winkel beleuchten zu können, der schwarzen Rückseite desselben, und einer Beleuchtungslinse mit Bewegung für opake Objecte; einem concaven Objectglase für Flüssigkeiten und zwei flachen Glastafeln für trockene Objecte. Eine Wilson'sche Lupe, in Messing gefasst, und eine messingene Pincette. Zwei auf Glas getheilte Mikrometer mit Theilung der Wiener Duodecimallinie in 30 und 60 Theile oder des Millimeters in 25 und 50 Theile, in messingener Fassung, und sind in das Ocular No. 1 einzuschieben und mittelst einer daran angebrachten Schraube zum Einstellen für das Auge vorgerichtet. Die Vergrösserungen gehen von 25- bis 350mal linear, oder von 625- bis 122,500mal der Fläche. Alles in einem hölzernen polirten Kästchen mit Schloss und mit Sammt gefüttert, beiläufig 11″ lang, 6¾″ breit und 4½″ hoch . . . . 95 fl. — kr.
3. Zusammengesetztes Taschen- oder Reisemikroskop mit einem auf dem Deckel des Kästchens aufzuschraubenden Fuss, dessen in zwei Hälften zerlegbarer und in einander zu schraubender Körper auf einem horizontal beweglichen Arme steht; mit einem durch Triebwerk gegen die Linsen zu bewegenden Objecttische mit zwei Klammern, zwei Ocularen und sechs achromatischen Linsen, wovon der starke Einsatz so eingerichtet ist, dass derselbe mit und ohne Deckgläser gebraucht werden kann; einem beweglichen Reflexionsspiegel auf einem beweglichen Arme, um auch unter jedem beliebigen Winkel beleuchten zu können, dessen schwarze Rückseite nebst einer beweglichen Beleuchtungslinse zum Aufstecken, zur Beleuchtung opaker Objecte dient; einem flachen und concaven Glase für flüssige und trockene Objecte, und

einer messingenen Pincette. Die Vergrösserungen gehen von 25- bis 350mal linear, oder 625- bis 122,500mal der Fläche. Alles in einem polirten Kästchen, mit Sammt gefüttert und mit Schloss, beiläufig 5½″ lang, 4½″ breit und 1¼″ hoch 84 fl. — kr.

4. Kleineres zusammengesetztes Reisemikroskop auf messingenem Fusse, dessen Körper auf horizontalem festen Arme steht; mit einem durch Triebwerk gegen die Linsen beweglichen Objecttische mit zwei Klammern, einem Oculare und vier achromatischen Objectlinsen zum Uebereinanderschrauben; einem beweglichen concaven Reflexionsspiegel für transparente Objecte, dessen schwarze Rückseite nebst einer beweglichen Beleuchtungslinse zum Aufstecken, zur Beleuchtung opaker Objecte dient, einem flachen und concaven Glase für flüssige und trockene Objecte und einer messingenen Pincette. Die Vergrösserungen gehen von 25- bis 150mal linear, oder 625- bis 22,500 der Fläche. Alles in einem mit Leder gefütterten Futteral von Maroquin 55 fl. — kr.

5. Neues kleines, nach eigener Idee zusammengesetztes Arbeitsmikroskop auf rundem messingenen Fusse, dessen Körper auf horizontalem beweglichen Arme steht, mit einem durch Triebwerk gegen die Linsen beweglichen Objecttische mit zwei Klammern, einem Oculare und drei achromatischen Objectivlinsen, einem beweglichen concaven Reflexionsspiegel für transparente Objecte, einem flachen und concaven Glase, einer Objectnadel zum Aufstecken und einer messingenen Pincette.

Dieses Mikroskop ist so eingerichtet, dass es die Objecte nicht verkehrt zeigt; daher kann man bequem Objecte unterm Mikroskop zergliedern.

Die Vergrösserungen gehen von 20- bis 240mal linear oder 400- bis 57,600 der Fläche, welche durch Verlängerung des Mikroskopkörpers stufenweise hervorgebracht werden können. Mit einem Maroquinfutteral . . . . 54 fl. — kr.

6. Einfaches Reise- oder Taschenmikroskop mit einem auf dem Deckel des Kästchens aufzuschraubenden Gestelle, einem durch Triebwerk gegen die Linsen zu bewegenden Objecttische mit zwei Klammern, für Objectträger und Glastafeln aller Art; einem gläsernen concaven Reflexionsspiegel mit doppelter Bewegung, zwei planen und einem concaven Objectglase; einer Objectnadel mit Pincette zum Aufstecken und eine messingene Pincette. Dazu sechs gefasste Doppellinsen nach Wollaston, auf einem beweglichen Arme, welche Vergrösserung von 12- bis 300mal linear oder 144- bis 90,000mal der Fläche geben. Alles in einem polirten hölzernen Kästchen, mit Sammt gefüttert, beiläufig 5½″ lang, 4″ breit und 2″ hoch . . . . . 59 fl. — kr.

7. Derlei Mikroskop mit einfachen Linsen . . . . 42 fl. — kr.

8. Derlei Mikroskop mit drei Doppellinsen nach Wollaston, welche Vergrösserungen von 12- bis 100mal linear oder 144- bis 10,000mal der Fläche geben . 32 fl. — kr.

9. Derlei mit 3 einfachen Linsen . . . . 26 fl. — kr.

10. Sonnenmikroskop, ganz von Messing, mit einer 4″ grossen Beleuchtungslinse, 6 achromatischen Objectivlinseneinsätzen, nebst einer Lupe, Pincette und 6 Objectschiebern mit Probeobjecten. Alles in polirtem Kasten mit Schloss . 185 fl. — kr.

11. Derlei mit einer 3″ grossen Beleuchtungslinse, vier achromatischen Objectiven zum Uebereinanderschrauben, nebst Lupe, Pincette und 4 Objectschiebern mit Probeobjecten. Alles in polirtem Kasten mit Schloss . . . . 105 fl. — kr.

12. Gasmikroskop mit einer 3½″ grossen Beleuchtungslinse, sechs achromatischen Objectivlinseneinsätze, einer Uhr zur Umdrehung des Kalkcylinders, alles so eingerichtet, dass nur von dem Gasapparat, welcher hier nicht mitbegriffen ist und nur auf besondere Verabredung geliefert wird, die Gasleitungsröhren anzupassen sind. Linseneinsätze, Lupe, Pincette und sechs Objectschieber mit Probeobjecten; in einem hölzernen polirten Kästchen . . . . 210 fl. — kr.

13. Derlei mit einer 3″ grossen Beleuchtungslinse, drei achromatischen Objectivlinseneinsätzen, den Kalkcylinder mittelst einer Schraube nachzustellen, und so eingerichtet, dass nur die Gasleitungsröhren anzupassen sind. Die zwei Objectschieber mit Probeobjecten, eine Lupe und Pincette; in Futteral von Maroquin . . 105 fl. — kr.

14. Eine Mikrometertheilung auf Glas von 20 bis 60 Theilen linear der Wiener Duodecimallinie; in einer Kapsel von Elfenbein . . . . 4 fl. — kr.

15. Eine derlei mit Theilung der Wiener Linie in 100 Theile . . . . . . 5 „ — „

16. Eine derlei mit Theilung der Wiener Linie in 200 Theile . . . . . . 6 „ — „

17. Eine derlei auf Elfenbein, die Wiener Linie in 20 Theile . . . . . . 3 „ — „

18. Eine derlei auf Glas, das Mikrometer in 100 Theile . . . . 8 „ — „

19. Apparat zum Elektrisiren unter dem Mikroskope im Objecttisch einzuklammern; in Futteral von Maroquin . . . . 6 fl. — kr.

20. Zwölf Objectschieber, ganz Glas, zum Oeffnen, für sehr feine Objecte, bei starker Vergrösserung . . . . 10 fl. 50 kr.

21. Objectquetscher, nach Professor Purkinje . . . . 12 „ — „

22. Objectquetscher, nach Plössl . . . . 10 „ — „

1. Camera lucida mit Prisma, nach Wollaston, mit Stativ in Futteral von Maroquin . . . . 12 fl. — kr.
2. Derlei zum Anschrauben an das Zeichnungsbrett angeheftet . . . . . . 16 ,, — ,,
3. Derlei mit Stativ, das aber zugleich angeschraubt werden kann . . . . 16 ,, — ,,
4. Derlei ohne Prisma, mit metallenem Planspiegel, wo der Zeichnungsstift besser zu sehen ist, mit Stativ und Futteral von Maroquin . . . . 16 fl. — kr.
5. Derlei zum Anschrauben an das Zeichnungsbrett vorgerichtet . . . . . 20 ,, — ,,
6. Sömmering'scher Spiegelchenapparat an Mikroskope und Fernröhre jeder Art und Grösse anzuwenden . . . . 6 fl. 30 kr.
   Obige Zeitschr. Band IV. S. 1.
7. Derlei mit Stativ, um mit freiem Auge zu zeichnen, in Futteral von Maroquin 11 ,, — ,,
8. Camera obscura mit einem sphärischen Prisma (nach Chevalier); wird nach Verschiedenheit der Einrichtung auf besondere Bestellung geliefert.

Alle übrigen zum Unterrichte in der Optik erforderlichen Apparate werden auf besondere Bestellung und Verabredung verfertigt.

Es wird ersucht, bei Bestellungen den Jahrgang des Verzeichnisses, nach welchem die Bestellung gemacht wird, gefälligst anzuzeigen.

No. 4.

F. W. Schiek in Berlin, Halle'sche Strasse No. 15.

(Preise in Thalern.)

1863.

A. Grösstes zusammengesetztes Mikroskop.

(Nach Oberhäuser.)

Auf messingenem Hufeisenfuss. Zum Ueberlegen construirt. Der Tisch ist um seine Axe drehbar. Die grobe Einstellung des Objects geschieht durch Zahn und Trieb, die feine durch Cylinder oder Prisma. Schiefe Spiegelstellung und Cylinderblendungen, welche auf- und abzubewegen sind. Es enthält 6 vollständige Systeme Objectivlinsen, 3 orthoskopische und ein einfaches Ocular, eine Beleuchtungslinse, Insektenglas, Handpincette, Probeobjecte, Object- und Deckgläser etc. in verschliessbarem Mahagonikasten. Linearvergrösserung 20 – 1500mal . . . . 200 Thlr.

B. Grosses zusammengesetztes Mikroskop.

Auf messingenem zusammenzulegenden Dreifusse.

Die grobe Einstellung des Tubus wird durch Zahn und Trieb bewirkt, die feinere durch eine Druckschraube gegen den Objecttisch. Es enthält sechs Systeme Objectivlinsen, 3 orthoskopische und ein einfaches Ocular, eine Beleuchtungslinse, eine Lupe, ein Insektenglas, eine Handpincette, zwei Objectenschieber mit 8 Probeobjecten und ein Dutzend Objectenträger und Deckgläschen, Alles in einem verschliessbaren Mahagonikasten. Linearvergrösserung 20—1500mal . . . . 170 Thlr.

Wird dazu ein Schraubenmikrometer verlangt, so erhöht diess den Preis um 30 Thlr., mithin bis auf . . . . 200 Thlr.

C. Mittleres zusammengesetztes Mikroskop.

Das Stativ ist wie bei vorhergehendem; mit fünf Systemen Objectivlinsen, einem orthoskopischen und drei einfachen Ocularen, einer Beleuchtungslinse, einer Lupe u. s. w. Linearvergrösserung 20—800mal . . . . 100 Thlr.

D. Ein Mikroskop nach dem grossen Oberhäuser'schen Modell.

Der Tisch, um seine Axe drehbar, mit fünf Systemen Objectivlinsen, drei orthoskopischen und einem einfachen Ocular u. s. w. Linearvergrösserung 20—900mal . . . 130 Thlr.

NB. Diese Mikroskope sind für schiefe Spiegelstellung eingerichtet und mit Cylinderblendungen versehen, welche auf- und abzubewegen sind.

E. Mittleres zusammengesetztes Mikroskop.

(Nach Oberhäuser.)

Auf messingenem Hufeisenfuss. Nicht zum Ueberlegen construirt. Der Tisch ist um seine Axe drehbar. Die grobe Einstellung geschieht mit dem Tubus aus freier Hand, die feine durch Prisma. Schiefe Spiegelstellung. Schieberblendung unter dem Objecttisch. Es enthält 3 Objectivlinsen und 2 vollständige Objectivsysteme, drei Oculare etc. in verschliessbarem Mahagonikasten. Linearvergrösserung 25—600mal . . 100 Thlr.

F. Kleines zusammengesetztes Mikroskop.

An einer Säule construirt.

Die grobe Einstellung durch Verschiebung des Tubus in einer Hülse, die feinere Einstellung durch eine Schraube, welche gegen den Objecttisch wirkt, mit vier Objectivlinsen, einem orthoskopischen und zwei einfachen Ocularen u. s. w. Linearvergrösserung 35—500mal . . . . 50 Thlr.

G. Kleines zusammengesetztes Mikroskop

nach der Construction der kleinen Oberhäuser'schen Instrumente, dessen gröbere Bewegung aus freier Hand, die feinere aber durch eine Schraube am Objecttisch bewerkstelligt wird. Es enthält vier Objectivlinsen und zwei Oculare u. s. w. Linearvergrösserung 40—500mal . . . . 40 Thlr.

H. Einfaches Mikroskop.

Dasselbe befindet sich ebenfalls in einem Mahagonikästchen und enthält 3 achromatische Objectivlinsen. Linearvergrösserung 40mal . . . . 20 Thlr.

I. Einzelne Gegenstände.

Ein Schraubenmikrometer	30 Thlr.
Ein Compressorium	5 ,,
Ein Zeichnenprisma in einem Kästchen {nach Nachet	6 ,,
{nach Daguerre, Milne Edwards	10 ,,
Ein orthoskopisches Ocular	6 ,,
Eine Pincette	10 Sgr.
Ein einfaches Ocular	4 Thlr.
Ein Ocularglasmikrometer, ein Millimeter in 10 Theile	3 ,,
Ein Objectivmikrometer, ein Mm. in 100 Th.	4 ,,
Ein Ocular mit verschiebbarem Mikrometer	10 ,,
Polarisation am Mikroskop	16 ,,
Ein Goniometer für das Mikroskop, zwei Minuten angebend, mit Mikrometerschraube versehen	18 Thlr.
Ein Dutzend Objectträger	24 Sgr.
Ein Dutzend Deckgläschen	10 ,,
Achromatische Lupen in Elfenbeinfassung, 6-, 10- und 15mal vergrössernd, das Stück	4 Thlr.
Eine Brücke'sche achromatische Stativlupe	12 ,,

---

No. 5.

L. Bénèche in Berlin, Belle-Alliance-Strasse No. 33.

(Preise in Thalern.)

1866.

A. Zusammengesetzte Mikroskope.

A. Hufeisenförmiger Fuss; horizontal und vertikal verstellbarer Spiegel; Schlitten, um seitlich die Blendungen zu wechseln; um die Achse drehbarer Tisch; Mikrometer-

bewegung an der Tubussäule. — System 4. 7. 8. 10. 11. Ocular 1 bis 5. Ocularmikrometer zum Einlegen. Das Mikroskop zum Umlegen . . . . 170 Thlr.

B. Stativ dem von A. gleich, nur etwas kleiner. — System 4. 7. 8. 9. Ocular 1 bis 5. Ocularmikrometer zum Einlegen. Das Mikroskop zum Umlegen . . . . 100 Thlr.
Dasselbe Mikroskop mit System 4. 7. 8. 10 . . . . 130 „

C. Hufeisenförmiger Fuss; horizontal verstellbarer Spiegel; Schieber zum verticalen Verstellen der Blendung; Mikrometerbewegung an der Tubussäule. — System 4. 7. 9. Ocular 2. 3. 5. Ocularmikrometer zum Einlegen . . . . 50 Thlr.
Dasselbe mit System 4. 7. 10 . . . . 80 „

D. Runder Fuss; horizontal verstellbarer Spiegel; Mikrometerbewegung am Tisch; Blendung unterhalb des Tisches. — System 4. 7. 8. Ocular 2. 3. 4 . . . 30 Thlr.
Dasselbe Mikroskop mit System 4. 7. 9 . . . . 40 „

d. Runder Fuss; Mikrometerbewegung am Tisch; Blendung unterhalb des Tisches; 2 Oculare; 8 Vergrösserungen; Ocularmikrometer; 6 Objectträger; 12 Deckgläschen; Pincette . . . . 15 Thlr.

E. Runder Fuss; Mikrometerbewegung am Tisch; Blendung unterhalb des Tisches; 1 Ocular; 3 Vergrösserungen . . . . 10 Thlr.

B. Hülfsapparate

zu zusammengesetzten Mikroskopen.

Goniometer	20 Thlr.
Ocular mit verstellbarem Mikrometer	10 „
Polarisation (der Analyseur über dem System)	15 „
Polarisation (der Analyseur unter dem Ocular)	20 „
Beleuchtungslinse auf Stativ 3″ Durchmesser	15 „
Beleuchtungslinse auf Stativ 2″ Durchmesser	10 „
Objectivmikrometer 100 Th. = ¼ Mm.	5 „
Ocularmikrometer 10 Th. = 1 Mm.	1 „
Compressorium	5 „
Zeichnenprisma	5 „
Oculare No. 1 bis 5 à Stück	2 „
Objectträger mit ungeschliffenen Kanten à Dutzend	⅕ „
„ „ geschliffenen Kanten à Dutzend	⅓ „
Deckgläschen	⅙ „

Den Mikroskopen A. bis E. liegen Objectträger und Deckgläser für den ersten Gebrauch bei. Die stärksten Vergrösserungen lassen sich in ungefähren Zahlen bei 250 Mm. Sehweite, wie folgt, angeben:

Bei A. 2000 — B. 1300 — C. 900 — D. 500 — d. 400 — E. 300.

C. Präparirmikroskop.

Ein Klotz mit Backen dient als Fuss; Mikrometerbewegung am Tisch; mit 2 Doublets	8 Thlr.
Dasselbe, mit 3 Doublets	10 „

D. Lupen.

Präparir-Doppellupe auf Stativ	7 Thlr.
Aplanatische Lupe in Elfenbeinfassung	4 „
„ „ in Hornfassung	3 „
Dreifache Lupe in Hornfassung	2 „
Doppellupe in Horn- oder Messingfassung	1½ „
Einfache Lupe in Hornfassung	1 „

Preise der einzelnen Objectivsysteme.

System No. 4	7 Thlr.
„ No. 5	8 „
„ No. 7	10 „
„ No. 8	10 „
„ No. 9	15 „
„ No. 10 (Immersion mit Correction)	40 „
„ No. 11	20 „

No. 6.

Carl Zeiss in Jena.

(Preise in Thalern.)

1866.

A. Zusammengesetzte Mikroskope.

1. Grosses zusammengesetztes Mikroskop; (Stativ O) hufeisenfösmiger Fuss, drehbarer Tisch, Schlitten um die Cylinderdiaphragmen zu wechseln ohne das Object zu verrücken, Hohl- und Planspiegel, seitlich, hoch und niedrig zu stellen, grobe Einstellung des Tubus durch Verschiebung, feine durch Mikrometerschraube. — Systeme A, B, C, D, E, F; Oculare 1, 2, 3, 4; Vergrösserungen 20 bis 1500. Polarisationsapparat; grosse halbkugelige 3″ im Durchmesser haltende Beleuchtungslinse auf Stativ; Camera lucida zum Zeichnen; Vorrichtung zur Messung der Dicke der Deckgläser (Deckglastaster); Objectivmikrometer 1 Mm. getheilt in 100 Theile. Ocularmikrometer; Compressorium . . . . 200 Thlr.
2. Dasselbe Instrument; Systeme A, C, D, F; Oculare 1, 2, 3, 4; Vergrösserungen 20 bis 1500; Camera lucida zum Zeichnen; Deckglastaster; Ocularmikrometer 133 Thlr.
3. Grösseres zusammengesetztes Mikroskop; (Stativ I b) hufeisenförmiger Fuss; drehbarer Tisch, gewölbte Blendungsscheibe dem Objectträger sehr genähert, Hohl- und Planspiegel durch eine neue Einrichtung nicht nur seitlich, sondern auch nach vorn verstellbar, um von jeder Seite schiefes Licht geben zu können, grobe Einstellung des Tubus durch Verschiebung, feine durch Mikrometerschraube. — Systeme A, B, C, D, E, F; Oculare 1, 2, 3, 4; Vergrösserungen 20 bis 1500; Polarisationsapparat, grosse halbkugelige 3″ im Durchmesser haltende Beleuchtungslinse auf Stativ; Camera lucida zum Zeichnen; Deckglastaster; Objectivmikrometer 1 Mm. getheilt in 100 Theile; Ocularmikrometer; Compressorium . . . . 186 Thlr.
4. Dasselbe Instrument; Systeme A, C, D, F; Oculare 1, 2, 3, 4; Vergrösserungen 20 bis 1500; Camera lucida zum Zeichnen; Deckglastaster; Ocularmikrometer 116 Thlr.
5. Dasselbe Instrument; Systeme A, C, E; Oculare 1, 2, 3, 4; Vergrösserungen 20 bis 900; Camera lucida zum Zeichnen; Ocularmikrometer . . . . 90 Thlr.
6. Grösseres zusammengesetztes Mikroskop; (Stativ I) runder ringförmiger Fuss, gewölbte Blendungsscheibe, Hohl- und Planspiegel nicht nur seitlich, sondern auch nach vorn verstellbar, grobe Einstellung durch Verschiebung, feine durch Mikrometerschraube. — Systeme A, B, C, D, E, F; Oculare 1, 2, 3, 4; Vergrösserungen 20 bis 1500; Polarisationsapparat; grosse halbkugelige Beleuchtungslinse auf Stativ; Camera lucida zum Zeichnen; Deckglastaster; Ocularmikrometer. . . . 166 Thlr.
7. Dasselbe Instrument; Systeme A, C, D, F; Oculare 1, 2, 3, 4; Vergrösserungen 20 bis 1500; Camera lucida zum Zeichnen; Deckglastaster; Ocularmikrometer 105 Thlr.
8. Dasselbe Instrument; Systeme C, F; Oculare 1, 2, 3, 4; Vergrösserungen 50 bis 1500 . . . . 73 Thlr.
9. Dasselbe Instrument; Systeme A, C, E; Oculare 2, 3, 4; Vergrösserungen 30 bis 900. . . . . 69 Thlr.
10. Dasselbe Instrument; Systeme C, E; Oculare 1, 2, 3, 4; Vergrösserungen 50 bis 900. . . . . 65 Thlr.
11. Dasselbe Instrument; Systeme A, D; Oculare 2, 3, 4; Vergrösserungen 30 bis 740 54 Thlr.
12. Mittleres zusammengesetztes Mikroskop: (Stativ II) runder Fuss; Blendungsscheibe, Spiegel etc. wie bei I, nur ein wenig kleiner; Systeme C, E, F; Oculare 1, 2, 3, 4; Vergrösserungen 50 bis 1500; Ocularmikrometer . . . . 87 Thlr.
13. Dasselbe Instrument; Systeme A, C, E; Oculare 2, 3, 4; Vergrösserungen 30 bis 900; Ocularmikrometer . . . . 65 Thlr.
14. Dasselbe Instrument; Systeme A, D; Oculare 2, 3, 4; Vergrösserungen 30 bis 740 47 Thlr.
15. Kleineres zusammengesetztes Mikroskop; (Stativ III b) hufeisenförmiger Fuss, das Uebrige wie bei I, nur kleiner; Systeme A, C, D, F; Oculare 1, 2, 3, 4; Vergrösserungen 20 bis 1500; Deckglastaster; Ocularmikrometer (s. Schacht, »das Mikroskop« III. Aufl. S. 290). . . . . 91 Thlr.
16. Dasselbe Instrument; Systeme A, C, E; Oculare 1, 2, 3, 4; Vergrösserungen 20 bis 900; Ocularmikrometer . . . . 65 Thlr.

17. Dasselbe Instrument; Systeme C, F; Oculare 1, 2, 3, 4; Vergrösserungen 50 bis 1500; Ocularmikrometer . . . . 67 Thlr.
18. Dasselbe Instrument; Systeme A, D; Oculare 2, 3, 4; Vergrösserungen 30 bis 740 45 Thlr.
19. Dasselbe Instrument; System C; Oculare 2, 3, 4; Vergrösserungen 75 bis 330 36 „
20. Kleineres zusammengesetztes Mikroskop; (Stativ III c) viereckiger schwerer Fuss, drehbarer Tisch, das Uebrige wie bei I, nur kleiner; Systeme A, B, C, D, E, F; Oculare 1, 2, 3, 4; Vergrösserungen 20 bis 1500; Camera lucida zum Zeichnen; Deckglastaster; Ocularmikrometer . . . . 130 Thlr.
21. Dasselbe Instrument; Systeme A, C, D, F; Oculare 1, 2, 3, 4; Vergrösserungen 20 bis 1500; Camera lucida zum Zeichnen; Deckglastaster; Ocularmikrometer 104 Thlr.
22. Dasselbe Instrument; System A, C, E; Oculare 2, 3, 4; Vergrösserungen 30 bis 900; Ocularmikrometer . . . . 71 Thlr.
23. Dasselbe Instrument; Systeme A, D; Oculare 2, 3, 4; Vergrösserungen 30 bis 740 . . . . 53 Thlr.
24. Kleinstes zusammengesetztes Mikroskop; (Stativ IV) runder Fuss; seitlich verstellbarer Hohlspiegel; grobe Einstellung durch Verschiebung, feine durch Mikrometerschraube; Grösse wie III b; Systeme A, C, E; Oculare 2, 3, 4; Vergrösserungen 30 bis 900 . . . . 53 Thlr.
25. Dasselbe Instrument; Systeme C, E; Oculare 1, 2, 3, 4; Vergrösserungen 50 bis 900 . . . . 49 Thlr.
26. Dass. Instr.: Syst. A, D; Oculare 2, 3, 4; Vergrösserungen 30 bis 740. . 38 „
27. Dass. Instr.; Syst. C; Oculare 1, 2, 3, 4; Vergrösserungen 50 bis 330 . . 30 „
28. Dass. Instr.; Syst. C; Oculare 2, 3; Vergrösserungen 75 bis 200 . . . . 27 „
29. Dass. Instr.; Syst. A; Oculare 2, 3; Vergrösserungen 30 bis 115 . . . . 21 „
30. Kleinstes zusammengesetztes Mikroskop, (Stativ V) runder Fuss, Einstellung des Tubus durch Verschiebung, Grösse wie III b; Syst. A; Oculare 2, 3; Vergrösserungen 30 bis 115 . . . . 16 Thlr.
31. Dass. Instr.; Syst. A; Ocular 2; Vergrösserungen 30 bis 75 . . . . . . 14 „

Die verschiedenen Stative, die oben an den betreffenden Stellen näher beschrieben sind, werden zu folgenden Preisen notirt:

Stativ	0	inclus.	Etuis	55	Thlr.
„	I	„	„	27	„
„	Ib	„	„	38	„
„	II	„	„	20	„
„	IIIb	„	„	18	„
„	IIIc	„	„	26	„
„	IV	„	„	11	„
„	V	„	„	8	„

(Stativ III wird nicht mehr gefertigt.)

Die Stative 0, I, Ib, bilden die grossen, II ein mittleres, IIIb, IIIc, IV und V die kleineren Stative.

Vergrösserungen der Systeme.

	mit Ocular 1,	2,	3,	4.	
System A obere Linse allein	20,	30,	45.		
„ „ ganzes System	50,	75,	115.		6 Thlr.
„ B	75,	105,	150.		8 „
„ C ganzes System	80,	120,	200,	330.	12 „
„ C ob. u. unt. Linse mit Zwischenstück	50,	75,	110,	180.	
„ D	160,	250,	450,	740.	15 „
„ E	240,	350,	600,	900.	18 „
„ F	300,	500,	950,	1500.	26 „

NB. Die obere Linse von A gibt, allein gebraucht, wenn auch kein ganz vollkommenes (von einer Linse unmöglich), so doch ein für viele Zwecke brauchbares Bild.

Bei Anwendung von C obere und untere Linse wird das zu C gehörige Messingzwischencylinderchen zwischen die obere und untere Linse geschraubt, die mittlere Linse aber weggelassen, während bei Anwendung des ganzen Systems jenes Cylinderchen ausser Gebrauch kommt.

Bei System E und F sind die mittleren Gläser nur eingesteckt und können nach Abschrauben des untersten Glases leicht herausgezogen werden. Beim Wiedereinstecken ist auf das Zeichen zu achten.

Oculare.

No. 1, 2, 3, 4, jedes . . . . 2 Thlr.

Bei Verbindung meiner Systeme mit andern Stativen, welche einen abweichenden Beleuchtungsapparat haben, ist der Effect mit durch jenen Apparat bedingt. Veränderungen anderer Stative, behufs Armirung mit meinen Systemen, können mit Ausnahme des nöthigen kleinen Zwischengewindes an dem Tubus, nicht übernommen werden.

Sollte Jemand für seine Zwecke eine andere Combination wünschen als in den 31 Nummern oben zusammengestellt sind, so wird der Preis derselben aus den letzten Zeilen leicht ersichtlich und reicht bei den betr. Aufträgen die einfache Ausdrucksweise wie

I. C, F; 1, 2, 3, 4. 73 Thlr.
IIIb A, C, D, F; 2, 3, 4. 83 ,, etc.

vollkommen aus.

B. Nebenapparate
des zusammengesetzten Mikroskops.

32. Ocularmikrometer zum Einlegen in's Ocular 5 Mm. in 50 Theile, in Etuis 3 Thlr.
33. Mikrometerocular (No. 2) mit 5 Mm. in 50 Theile . . . . 6 ,,
34. Objectivmikrometer 2 Mm. in 50 Theile, in Etuis . . . . 3 ,,
35. ,, 1 Mm. ,, 50 ,, ,, ,, ... 3 ,,
36. ,, 1 Mm. ,, 100 ,, ,, ,, ... 4 ,,
37. ,, ½ Mm. ,, 100 ,, ,, ,, ... 5 ,,
38. Vorrichtung zur Messung der Dicke der Deckgläser, Deckglastaster, mit Nonius, $\frac{1}{10}$ Millimeter angebend, Schätzung bis 0,05 genau, in Etuis . . . . . . 3 Thlr.
39. Camera lucida, Zeichenprisma zum Mikroskop, nach Nachet, in Etuis 5 ,,
40. Camera lucida nach Nobert, in Etuis . . . . 6 ,,
41. Camera lucida aus 2 Prismen . . . . 7 ,,
42. Compressorium, mikroskopischer Quetscher, eingerichtet, dass man den Gegenstand zugleich mit der Object- und Deckplatte, so wie man ihn früher zur Beobachtung hatte, zwischen den Quetscher und mit solchem zurück unter das Mikroskop bringen kann, in Etuis . . . . 5 Thlr.
43. Beleuchtungslinse auf Stativ, 3″ Durchmesser, halbkugelförmig, in polirtem Etuis 15 Thlr.
44. Beleuchtungslinse, 1½″ Durchm., mit Kugelbewegung, zum Einstecken in Fuss, für Stativ I. . . . . 5 Thlr.
45. Dies. wie vorher, mit Messingfuss, auch für die übrigen Stative anwendbar 6 ,,
46. Beleuchtungslinse am Tubus verschiebbar . . . . 3⅓ ,,
47. Polarisationsapparat zum Mikroskop mit 2 Nicols, der Analyseur über dem System, in Etuis . . . . 15 Thlr.
48. Derselbe Apparat mit Flintglas-Condensorlinse, Hoch- und Nidrigstellung der letzteren und des Polariseurs, separater Drehung des Objects und Einrichtung zum Unterlegen dünner Plättchen, mehr für die grösseren Stative anwendbar, in Etuis 20 Thlr.
49. Derselbe Apparat wie vorher, der analysirende Nicol von grosser Oeffnung im Ocular, zu welchem Zweck ein separates Ocular No. 2 verwendet wird, in Etuis . 23 Thlr.

NB. Bei Bestellung von Polarisationsapparaten zu früher gefertigten Stativen müssen diese letzteren eingesendet werden.

C. Einfache Mikroskope.

50. Einfaches Mikroskop, fester Tisch, grobe Einstellung durch Verschiebung, feine durch Schraube, drehbarer Planspiegel, darüber eine verstellbare Beleuchtungslinse. Das Ganze liegt in einem polirten Nussbaumetuis und ist zum Daraufschrauben eingerichtet Beigegeben sind 4 Doublets von 15-, 30-, 60- und 120facher Vergrösserung . . . . 16 Thlr.
51. Dasselbe Instrument mit 15-, 30- und 120facher Vergrösserung . . . . . 13 ,,
52. Dasselbe Instrument mit 15-, 30- und 60facher Vergrösserung, ohne Beleuchtungslinse, aber mit Präparirfuss zum Präpariren . . . . 13 Thlr.
53. Dasselbe Instrument ohne Beleuchtungslinse mit 10-, 15- und 30facher Vergrösserung und Präparirfuss, hauptsächlich zum Präpariren . . . . 12 Thlr.

(Die 10fache Vergrösserung wird als Lupe in Extractuis beigegeben und gibt nach Entfernung des oberen Glases eine 5fache Vergrösserung.)

54. Präparirfuss von Nussbaumholz mit Backen zum Auflegen der Hände und Messingmutter zum Aufschrauben des Instruments. Einzeln . . . . 20 Sgr.

55. Einfaches Mikroskop, ähnlich wie die vorhergehenden, aber mit einem grossen Tisch (4 Quadratzoll Par. M.). Der Beleuchtungsspiegel auch für seitlichschiefe Beleuchtung eingerichtet. Unter dem Tisch eine Drehscheibe mit vershiedenen Blendungen und eine Beleuchtungslinse. Dazu ein Präparirfuss von Mahagoni mit Backen und Messingmutter. Beigegeben sind 4 Doublets mit 15-, 30-, 60- und 120facher Vergrösserung. Alles liegt in einem Mahagonietuis, worin noch 2 kleinere für die Linsen und andere Utensilien . . . . 20 Thlr.
(Die 3 schwäeheren Vergrösserungen haben einen zum Präpariren bequemen Focalabstand.)
56. Dasselbe Instrument wie das vorhergehende mit 15-, 30- und 60facher Vergrösserung, hauptsäehlich zum Präpariren . . . . 17 Thlr.
57. Dasselbe wie vorher, mit noch einer Lupe mit 10- und 5facher Vergrösserung 19 ,,
Die diesen Instrumenten beigegebenen Linsencombinationen, Doublets werden auf Verlangen auch einzeln in speciellen Etuis abgegeben. Preis wie folgt:

58.	Doublet mit	15maliger	Linearvergrösserung in Etuis	2 Thlr.
59.	,, ,,	30 ,,	,, ,, ,, ...	2 ,,
60.	,, ,,	60 ,,	,, ,, ,, ...	3 ,,
61.	,, ,,	120 ,,	,, ,, ,, ...	3 ,,

(NB. Obige Doublets passen in alle früher oder später gefertigten einfachen Mikroskope obiger Art.)
62. Kleinstes Taschenmikroskop für Moossammler mit 5-, 10- und 30facher Linearvergrösserung, Tisch und Planspiegel und eingerichtet zum Aufschrauben des Stativs auf den Deckel des Etuis, welches nur 65 Mm. lang und 50 Mm. breit ist . . $5\frac{1}{2}$ Thlr.
63. Kleines Handmikroskop zur Untersuchung durchsichtiger Objecte mit 30facher Linearvergrösserung, einige Glasplättchen, Nadeln, einem Trichinenobject und einer Gebrauchsanweisung zur Untersuchung des Fleisches (in No. 7 der Gartenlaube 1864 empfohlen), in Etuis . . . . 3 Thlr.
64. Lupe aus 2 Linsen mit 10facher Vergrösserung, mit einem kleinen polirten Holzstativ, auf welches ein Objecttisch von Messing geschraubt, über dem sich die Lupe in einem Halter auf- und abschieben lässt. Auf dem Tisch eine Federklammer und unterhalb ein Planspiegel. Hiezu ein kleines Pappetuis zum Aufbewahren der Lupe, und Objectplatten . . . . 3 Thlr.
65. Dasselbe Stativ mit 30facher Vergrösserung und Pappetuis zu Linsen und Objectplatten. . . . . 4 Thlr.
66. Dasselbe mit 10- und 30facher Vergrösserung . . . . 5 ,,
67. Dasselbe mit 10- und 60facher Vergrösserung . . . . 6 ,,
68. Obige Lupe mit 10facher Vergrösserung in leichter Messingfassung, nebst einem kleinen Gestell mit 2 Kugelbewegungen und einer Holzschraube, um die Lupe beim Gebrauch vom festen Punkt entfernen und das Gestell auf der Tafel befestigen zu können; für Präparationen unter Wasser, oder an verhältnissmässig grossen Gegenständen etc. zu medicinischem und ähnlichem Gebrauch . . . . 3 Thlr.
69. Lupe aus 3 Linsen in Messing gefasst, mit 6maliger Linearvergrösserung, in Etuis 2 Thlr.
70. Vorrichtung, um dieselbe zur Präparation mit obigen einfachen Mikroskopen zu gebrauchen . . . . $7\frac{1}{2}$ Sgr.
71. Lupe aus 2 Linsen in Messing gefasst, mit 10maliger Vergrösserung (zu den einfachen Mikroskopen ohne Zwischenstück brauchbar) . . . . 2 Thlr.
72. Lupe nach Wilson mit einer Linse in Messingfassung, ebenfalls zu obigen Instrumenten brauchbar. In Etuis . . . . 1 Thlr.
73. Lupe aus 2 Linsen, jede für sich allein, achromatisirt. In Messing gefasst. In Etuis 3 Thlr.
74. Lupe, einfache, mit 6maliger Linearvergrösserung in Büffelhorn, zwischen Schalen zu Excursionen . . . . 18 Sgr.
75. Lupe, zweifache, mit 6- und 12maliger Linearvergrösserung . . . . . . 27 ,,
76. Lupe, dreifache, mit 6-, 12- und 18maliger Vergrösserung, zwischen Schalen zu Excursionen . . . . $1\frac{1}{5}$ Thlr.
77. Achromatische Lupe in Elfenbein, zwischen Elfenbeinschalen zum Einschlagen wie die vorhergehende, mit 2 achromatischen Linsen . . . . $4\frac{1}{3}$ Thlr.
78. Lupe, ärztliche, 2 Linsen von grösserem Durchmesser als die vorhergehenden, zwischen Schalen zum Taschengebrauch . . . . $1\frac{1}{6}$ Thlr.
79. Lupe aus 2 planconvexen Linsen mit grosser Oeffnung, in Horn, zum Auseinanderschrauben . . . . $1\frac{1}{6}$ Thlr.
80. Dergleichen mit einer biconvexen Linse, in Horn gefasst, mit grosser Oeffnung und circa 4maliger Linearvergrösserung . . . . 15 Sgr.

D. Allgemeine Nebenapparate.

81. Objectgläser (Träger) aus geschliffenem Tafelglas, auf den Kanten facettirt, à Dtzd. 10 Sgr.
82. Dergleichen, auf den Kanten nicht facettirt, zum Aufbewahren der Objecte, à Dtzd. 5 Sgr.
83. Objectglas, in der Mitte hohl geschliffen, für Flüssigkeiten, à Stück . . . 15 ,,
84. Deckgläser, à Dutzend . . . . 5 ,,
85. Dergleichen, von bestimmter Stärke, à Dutzend . . . . $7\frac{1}{2}$,,
86. Kleine Maassstäbchen von Messing, einen Decimeter lang, in 100 Millimeter getheilt. Die Kante ist facettirt, um Distanzen auf Zeichnungen direct mit dem Maassstab messen zu können . . . . 15 Sgr.
87. Messingring für Kork, zur Bereitung botanischer Pflanzenschnitte . . . . $7\frac{1}{2}$,,
88. Botanisches Besteck, Lederetuis, enthaltend ein Skalpel, eine Stahlpincette mit Schieber, eine anatomische Scheere, eine Nadel in Heft . . . . $2\frac{1}{3}$ Thlr.
89. Botanisches Besteck, Lederetuis, ausser den Gegenständen der vorigen Nummer noch enthaltend ein Heftchen mit zwei runden Nadeln zum Wechseln und ein Heftchen mit zwei lanzettförmigen Nadeln . . . . 3 Thlr.
90. Stahlpincette mit feinen, innen glatten Spitzen . . . . 12 Sgr.
91. Stahlpincette mit innen gerieften Spitzen u. einem Schieber zum Feststellen 20 ,,
92. Messingpincette, nach der Grösse . . . . 5—10 ,,
93. Doppelpincette von Messing, die eine Seite mit Knöpfchen, hält das Object ohne Druck der Hand . . . . 12 Sgr.
94. Skalpel, Messerchen mit gerader Schneide . . . . 10 ,,
95. Ein Heftchen mit zwei runden Nadeln zum Wechseln . . . . 8 ,,
96. Ein Heftchen mit zwei breiten lanzettförmigen Nadeln zum Wechseln . . 9 ,,
97. Eine Nadel fest im Heft . . . . 5 ,,

No. 7.

Fr. Belthle, Nachfolger von C. Kellner, in Wetzlar.

(Preise in Thalern.)

1866.

Mikroskope.

1. Grosses Mikroskop. Grobe Einstellung durch Zahn und Trieb und feine desgl. mit Mikrometerschraube. — Polarisationsapparat. — Ocularglasmikrometer. — Zeichenapparat. — Spiegel concav und plan für schiefe Beleuchtung. — Bewegung des Instrumentes um die optische Axe. — Ocular orthoskopisch I., II., III. und IV. und System 0., 1., 2., 3. und 4. Vergrösserungen von 25—1500 . . . . 120 Thlr.

2a. Mittleres Mikroskop. Grobe Einstellung durch Zahn und Trieb und feine desgl. mit Mikrometerschraube. — Spiegel concav und plan, für schiefe Beleuchtung. — Ocularglasmikrometer. — Bewegung des Instrumentes um die optische Axe. — Ocular I., II., und III. System 0., 1., 2. und 3. Vergrösserungen von 25, 35, 50, 75, 110, 145, 150, 220, 300, 320, 500—700 . . . . 85 Thlr.
Dasselbe ohne Bewegung um die optische Axe . . . . 80 ,,

2b. Mittleres Mikroskop. Mechanische Theile wie bei 2a. — Ocular I., II. und III. System 0., 1. und 3. Vergrösserungen von 25, 35, 50, 75, 110, 145, 320, 500—700 75 Thlr.

3a. Kleines Mikroskop. Grobe Einstellung durch Tubusverschiebung, feine desgl. durch Mikrometerschraube. — Spiegel für schiefe Beleuchtung. — Ocular I., II. und III. System 0., 1. und 3. Vergrösserungen von 25, 35, 50, 75, 110, 145, 320, 500—700 50 Thlr.
Dasselbe Mikroskop, mit einem weiteren Systeme 2. Vergrösserungen von 25, 35, 50, 75, 110, 145, 150, 220, 300, 320, 500—700 . . . . 60 Thlr.

3b. Kleines Mikroskop. Neues Modell. Grobe Einstellung durch Tubusverschiebung und feine desgl. durch Mikrometerschraube. — Spiegel für schiefe Beleuchtung. Tisch viereckig, Fuss viereckig. — Ocular I., II. und III. System 0., 1. und 3. Vergrösserungen von 25, 35, 50, 75, 110, 145, 320, 500—700 . . . . 50 Thlr.

Dasselbe Mikroskop mit Bewegung um die optische Axe . . . . . . 55 Thlr.

4a. Kleinstes Mikroskop. Grobe Einstellung durch Tubusverschiebung und feine desgl. durch Mikrometerschraube am Tisch (nach Mohl). — Spiegel für schiefe Beleuchtung. — Ocular I. und II. System 0., 1. und 3. Vergrösserungen von 25, 35, 60, 100, 300—500 . . . . 35 Thlr.

Dasselbe Mikroskop mit einem weiteren System 2. Vergrösserungen von 25, 35, 60, 100, 140, 220, 300—500 . . . . 45 Thl.

4b. Kleinstes Mikroskop. Grobe Einstellung durch Tubusverschiebung und feine desgl. durch Mikrometerschraube am Tisch (nach Mohl). — Spiegel für auffallendes Licht. Ocular I. u. II. System 1. und 3. Vergrösserungen von 60, 100, 300—500 25 Thlr.

4c. Mikroskop zur Untersuchung des Fleisches nach Trichinen. — 2 Oculare u. 1 System. Vergrösserungen von 40—90 . . . . 18 Thlr.

Siehe Leuckart's Schrift zweite Auflage Untersuchungen über Trichina spiralis 1866. Seite 109.

5. Mikroskop. Bestimmt zur photographischen Aufnahme mikroskopischer Objecte, nach Gerlach. System 3 und Ocular I., II. und III. . . . . 40 Thlr.

Dasselbe Mikroskop ohne Beigabe der optischen Theile . . . . 20 ,,

Die Mikroskope 1—3 können auf Verlangen zum Umlegen, ebenso mit Hufeisenfuss eingerichtet werden.

Die Vergrösserungen obiger Mikroskope betragen auf 8 Zoll Sehweite bezogen, in Mittelzahlen:

	Ocular 0.	Ocular I.	Ocular II.	Ocular III.	Ocular IV. orthosk.	Vocal-Abstand.
System 0.	20	25	35	50	80	3,0 Mm.
System 1.	60	75	110	145	185	5,5 ,,
System 2.	120	145	220	300	350	1,8 ,,
System 2a.	200	220	350	500	550	1,45 ,,
System 3.	250	320	500	700	750	1,06 ,,
System 4.	450	650	1200	1500	1580	0,8 ,,
System 5.	500	700	1400	1800	1890	0,4 ,,

Objectiv-Systeme.

6. System 0. mit einer achromatischen Linse . . . . 3 Thlr.
7. System 0. mit zwei achromatischen Linsen . . . . 6 ,,
8. System 1. mit zwei achromatischen Linsen . . . . 6 ,,
9. System 1. mit drei achromatischen Linsen . . . . 9 ,,
10. System 2. . . . . 10 ,,
11. System 2a. } neueste Construction . . . . 11 ,,
12. System 3. } neueste Construction . . . . 12 ,,
13. System 4. } neueste Construction . . . . 15 ,,
14. System 5. } neueste Construction . . . . 20 ,,

Immersionssysteme.

15. System 1. Focus 1/8″ . . . . 20 Thlr.
16. System 2. Focus 1/12″ . . . . 25 ,,
17. System 3. Focus 1/16″ . . . . 30 ,,

Oculare.

18. Orthoskopische Oculare I., II., III. u. IV. . . . . 6 Thlr.
19. Aplanatische Oculare I., II., III. u. IV. . . . . 7 ,,
20. Gewöhnliche Oculare 0., I., II. u. III. . . . . 3 ,,

Lupen.

21. Stativlupe zum Präpariren. Grobe Einstellung durch Schiebung, feine desgl. durch Mikrometerschraube, Doublett I., II. u. III. Vergrösserungen 10, 20 u. 30 18 Thlr. Vocalabstand bei Doublett I. 17 Mm., bei II. 10 Mm., bei III. 5,5 Mm.

22. Stativlupe zum Präpariren. Einstellung durch Schiebung mit einem Doublett. 25 mal. Vergrösserung. Vocalabstand 6 Mm. . . . . 5 Thlr. 20 Sgr.

23. Doppelte Handlupe, achromatisch. 10 mal. Vergrösserung mit grossem Schfelde. 4 Thlr.
24. Doppelte Handlupe, achromatisch. 12 mal. Vergrösserung mit Etui und Griff 3 Thlr. 15 Sgr.
25. Einfache Handlupe, achromatisch. 6 mal. Vergrösserung mit Etui und Griff. 2 Thlr. 15 Sgr.
26. Lupe nach Brücke je nach Grösse von 5 — 10 Thlr.
27. Haidinger'sche dichroskopische Lupe . . . . 4 Thlr.

Nebenapparate.

28. Polarisationsapparat nach Angabe von H. v. Mohl je nach Grösse der Nicol'schen Prismen in Etui . . . . 10 — 15 Thlr.
29. Polarisationsapparat, Analiseur mit Turmalinplatte je nach Grösse des Nicols und der Platte . . . . 6 — 10 Thlr.
30. Heizbarer Objecttisch, nach Angabe von Max Schultze. . . . . 10 ,,
31. Ocularglasmikrometer, mit Fassung zum Einlegen, ganze Länge der Theilung 2½ Mm., 1 Mm. in 10 Theile . . . . 2 Thlr.
32. Ocularglasmikrometer, 1 Mm. in 20 Theile . . . . 2 Thlr. 15 Sgr.
33. Mikrometerocular, orthoskopisch. Der Mikrometer fest in der Blende gefasst 7 Thlr. 15 Sgr.
34. Objectivmikrometer, ½ Mm. in 50 Theile . . . . 4 Thlr.
35. Zeichenprisma, nach Gerling in Etui . . . . 4 ,,
36. Zeichenprisma, nach Nobert in Etui . . . . 4 Thlr. 15 Sgr.
37. Dasselbe, Prisma zum Verstellen . . . . 5 Thlr.
38. Beleuchtungslinse, auf Stativ mit Kugelbewegung. 2″ Durchmesser . . . 10 ,,
39. Beleuchtungslinse, auf Stativ mit Kugelbewegung. 1,5″ Durchmesser . . 7 ,,
40. Beleuchtungslinse, auf Stativ mit Kugelbewegung. 1″ Durchmesser . . . 5 ,,
41. Einrichtung für Cylinderblenden, mit Schlitten, zum Abschieben unter den Tisch 6 Thlr.
42. Einrichtung zum Horizontalsehen, bestehend aus einem rechtwinkeligen Prisma mit Knie, auf den Tubus aufzustecken . . . . 10 Thlr.
43. Compressorium . . . . 6 ,,
44. Objectträger mit concavem Ausschliff, per Dtzd. . . . . 2 Thlr. 10 Sgr.
45. Objectträger, gewöhnliche, per Dtzd. . . . . 10 ,,
46. Objectträger, gewöhnliche, mit geschliffenen Kanten, per Dtzd. . . . . . 15 ,,
47. Deckgläschen, in gewöhnlicher Grösse, nach der Dicke sortirt und auf beiden Flächen polirt von $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{20}$‴ Dicke, per Dtzd.. 10 ,,
48. Deckgläschen in gemischter Dicke und Grösse . . . . 5 ,,

Jedes Mikroskop ist in einem polirten verschliessbaren Etui sorgfältig verwahrt.

No. 8.

G. & S. Merz, vormals Utzschneider & Fraunhofer, in München.

1866.

A. Complete Mikroskope.

Mikroskop No. 1 mit Stativ Nr. 1, vertical feststehender, horizontal drehbarer Tisch, grobe *) und feine Bewegung am Tubus, Beleuchtung in und ausser der Axe, Doppelspiegel und Lupe für opace Gegenstände.

Das Instrument versehen mit 6 Objectivsystemen: $\frac{1}{3}$″, $\frac{1}{9}$″, $\frac{1}{12}$″, $\frac{1}{15}$″, $\frac{1}{18}$″, $\frac{1}{24}$″, und 5 Ocularen: 1. 1½. 2. 3. 4., gewährt eine 60 — 1920 malige Durchmesser-Vergrösserung. Es besitzt ein Schraubenmikrometer, welches noch 0.0001 eines pariser

---

*) Die grobe Einstellung nur bei Mikroskop No. 1 und No. 2 durch Trieb, bei No. 3—5 durch Schieben der Röhre aus freier Hand.

Zolles messen lässt, einen Polarisationsapparat und ein Compressorium. Das Ganze in elegantem Kästchen . . . . 420 fl. = 240 Thlr.

Mikroskop No. 2 mit Stativ No. 1, versehen mit 5 Objectivsystemen: $^1/_3$", $^1/_9$", $^1/_{12}$", $^1/_{15}$", $^1/_{18}$" und 4 Ocularen: 1. $1^1/_2$. $2^1/_2$. 4., gewährt es 60—1410malige Vergrösserung. Beigegeben sind ein Ocular- und ein Objectiv-Glasmikrometer, ein Polarisations-Apparat, ein Zeichnungsprisma u. ein Compressorium . . 280 fl. = 160 Thlr.

Mikroskop No. 3 mit Stativ No. 1, versehen mit 4 Objectivsystemen: $^1/_3$", $^1/_9$", $^1/_{12}$", $^1/_{15}$" u. 3 Ocularen: 1. 2. 3., gewährt es 60—900 Vergrösserung. Beigegeben ein Ocular-Glasmikrometer . . . . 168 fl. = 96 Thlr.

Mikroskop No. 4 mit Stativ No. 2, vertical und horizontal feststehender Tisch, grobe (s. Anm. S. 645) und feine Bewegung am Tubus, Beleuchtung in und ausser der Axe, Doppelspiegel, ohne Lupe für opace Gegenstände.

Das Instrument versehen mit 2 Objectivsystemen: $^1/_3$", $^1/_{12}$" und 3 Ocularen: 1. 2. 3., gewährt 60—720 Vergrösserung . . . . 77 fl. = 44 Thlr.

Mikroskop No. 5 mit Stativ No. 3, grobe Einstellung am Tubus, feine am Tische, Beleuchtung in der Axe.

Das Instrument hat 1 Objectivsystem: $^1/_{12}$" und 2 Oculare: 1. 2. von 200- und 400maliger Vergrösserung . . . . 42 fl. = 24 Thlr.

B. Mikroskopische Gegenstände.

Objectivsysteme.

Brennweite der aequiv. Linse:

1", $^1/_2$", $^1/_3$"		Oeffnungswinkel	20°—40°	14 fl.	= 8 Thlr.
$^1/_6$"		,,	100°	21 ,,	= 12 ,,
$^1/_9$"	$^1/_{12}$"	,,	120°	28 ,,	= 16 ,,
$^1/_{15}$"	gewöhnliche und	,,	140°—150°	42 ,,	= 24 ,,
$^1/_{18}$"	systèmes à immersion	,,	140°—150°	56 ,,	= 32 ,,
$^1/_{21}$"	systèmes à immersion	,,	160°—170°	70 ,,	= 40 ,,
$^1/_{24}$"	systèmes à immersion	,,	160°—170°	98 ,,	= 56 ,,

Corrections-Fassungen erhöhen die Preise um je 14 fl. = 8 Thlr.

Oculare: No. 1, $1^1/_2$, 2, $2^1/_2$, 3, 4	pr. Stück	$5^1/_4$ fl.	= 3 Thlr.
Ocularmikrometer, Ocular sammt Mikrometer	,, ,,	14 ,,	= 8 ,,
Objectivmikrometer, Millimeter in 100 Theile	,, ,,	$10^1/_2$,,	= 6 ,,
Schraubenmikrometer	,, ,,	56 ,,	= 32 ,,
Polarisationsapparate	,, ,,	21 ,,	= 12 ,,
Zeichnungsprisma	,, ,,	7 ,,	= 4 ,,
Compressorien	,, ,,	$17^1/_2$,,	= 10 ,,
Lupen: Doubletten von 5-, 12-, 17-, 24- u. 32maliger Vergrösserung		$3^1/_2$,,	= 2 ,,

Bei Mangel an Reverenzen Versendungen nur gegen Nachnahme.

No. 9.

Preis-Courant des optischen Instituts von H. Schröder in Hamburg, holländischer Brook 31.

(1 Mark Hamb. Cour. = 12 Sgr.)

A. Mikroskope.

Stative in Kasten von Mahagoni.

1. Runder Fuss, runder Tisch, gerades und schräges Licht, Hohl- und Plan-Spiegel grobe Stellung aus freier Hand, feine Stellung durch eine federnde Platte nach Mohl, drehbare Blendscheibe . . . . 30 Mark = 12 Thlr.
2. Hufeisenförmiger Fuss, grosser ovaler Tisch, gerades und schräges Licht, Hohl- und Planspiegel, grobe Stellung durch Trieb, feine Stellung durch eine federnde Platte nach Mohl, drehbare Blendscheibe . . . . 50 Mark = 20 Thlr.
3. Runder Fuss, runder drehbarer Tisch, gerades und schräges Licht, Hohl- und Planspiegel, grobe Stellung durch Trieb, feine Stellung durch Mikrometerschraube, Blendungen von unten zu wechseln. . . . . 100 Mark = 40 Thlr.

4. Dreifuss, runder drehbarer Tisch, gerades und schräges Licht, Hohl- und Planspiegel, grobe Stellung durch Trieb, feine Stellung durch Mikrometerschraube, das ganze Instrument zwischen zwei Axen beweglich zum Neigen, Blendungsvorrichtung an einen Schlitten befestigt unter dem Objecttisch . . . . . . 150 Mk. = 60 Thlr.

B. Oculare.

1. Gewöhnliche, aus 2 Planconvex-Linsen No. 1. 2. 3. pr. St. 7 Mk. 8 Sch. = 3 Thlr.
2. Orthoskopische, aus 1 Biconvex-Linse und 1 Achromat. Nr. 1. 2. 3. 4 pr. Stück 15 Mk. = 6 Thlr.
3. Aplanatische, aus 2 Achromaten. Nr. 1 und 2 . . . . pr. Stück 25 ,, = 10 ,,
4. Aufrichtende (orthoskopisch) zum Präpariren . . . . ,, ,, 25 ,, = 10 ,,

C. Systeme.

No. 1. bestehend aus 2 durch ein Rohr getrennte Achromaten. Aequivalent $\frac{1}{2}''$ par. 15 Mk. = 6 Thlr.

Dialytische Systeme.

No. 1. Aequivalent $\frac{1}{4}''$ par. . . . . 35 Mk. = 14 Thlr.
No. 2. ,, $\frac{1}{8}''$,, ... 35 ,, = 14 ,,
No. 3. ,, $\frac{1}{12}''$,, ... 42 Mk. 8 Sch. = 17 ,,
No. 4. ,, $\frac{1}{16}''$,, ... 50 Mk. = 20 ,,

Diese Systeme zeichnen sich durch sehr schöne, helle und scharfe Bilder vor der gewöhnlichen ältern Construction aus.

Immersionslinsen,

die durch einen Tropfen Wasser auf dem Deckglase mit dem Object verbunden werden, ausserdem eine Schraube zur Einstellung der Correction für verschiedene Deckglasdicken besitzen.

No. 1. Aequivalent $\frac{1}{8}''$ (etwas stärker wie Oberhäuser's No. 7) zeigt bei gerader Beleuchtung, ohne Condensor, bei Pleurosigma angulatum Streifung. Abstand $\frac{3}{4}$—$1\frac{1}{2}$ Mm. Oeffnungswinkel 150° . . . . 50 Mk. = 20 Thlr.
No. 2. Aequivalent $\frac{1}{12}''$. Oeffnungswinkel 160° . . . . 65 ,, = 26 ,,
No. 3. ,, $\frac{1}{16}''$. ,, 175° . . . . 80 ,, = 32 ,,

D. Nebenapparate.

1. Lieberkühn'scher Spiegel zu No. 1 . . . . 15 Mk. = 6 Thlr.
2. Zwei kleine Polarisationsprismen, gefasst . . . . 15 ,, = 6 ,,
3. Zeichnenprisma, gleichseitig . . . . 15 ,, = 6 ,,
4. ,, nach Nachet. . . . . 17 Mk. 8 Sch. = 7 ,,
5. Ocularmikrometer = 1 Centimeter in 100 Theile . . . . 7 Mk. 8 Sch. = 3 ,,
6. Schraubenmikrometer . . . . 75 Mk. = 30 ,,

Beleuchtungslinsen, Condensor, Quetscher etc., je nach der Grösse, Vollständigkeit und Eleganz, zu verschiedenen Preisen.

Alle zu einem Instrument ausgesuchten Theile werden ohne Erhöhung des Preises in einem Kasten vereinigt.

Ferner werden alle in das Gebiet der Optik fallenden Arbeiten auf Bestellung angefertigt.

No. 10.

B. Hasert in Eisenach.

(Preise in Thalern.)

1864.

NB. Alle Stative sind fertig verpackt in Mahagonikistchen.

Grosses Stativ mit Drehtisch für gerade und schiefe Beleuchtung, mit achromatischer Condensationslinse für wenig schiefes Licht, mit 3 Ocularen und einer Beleuchtungslinse für opake Gegenstände zu . . . . 40—50 Thlr.

Kleines Stativ mit Drehtisch für gerade und schiefe Beleuchtung, achromat Condensationslinse und Beleuchtungslinse für opake Gegenstände mit 2 Ocularen 25—27 Thlr.

Kleines Stativ ohne Drehtisch mit Cylinderblendung und schiefer Beleuchtung, Beleuchtungslinse für opake Gegenstände mit 2 Ocularen . . . . 15—17 Thlr.

A. Objective erster Qualität von $^1/_{16}$ Zoll aequivalent Brennweite, welche ohne Immersion alle bekannten Probeobjecte vollständig lösen . . . . 45—50 Thlr.

B. Objective erster Qualität von $^1/_{12}$ Zoll aequivalent Brennweite, welche ebenfalls die Sechsecke auf Pleurosigma angulatum vollständig gut zeigen, sowie auch die Streifen auf Grammatophora subtilissima ohne Immersion zu . . 35—40 Thlr.

C. Objective erster Qualität von $^1/_5$ Zoll aequivalent Brennweite, welche ebenfalls ohne Immersion die Sechsecke auf Pleurosigma angulatum gut zeigen bei jedem Licht, zu . . . . 20—25 Thlr.

D. Objective zweiter Qualität von geringeren Brennweiten, welche die Querstreifen der Schmetterlingsschuppen und Streifungen von Pleurosigma attenuatum gut zeigen, und wo durch Abschrauben der vorderen Linse zugleich ein niedrigeres Objectiv erzielt wird, von . . . . 8—10 Thlr.

Die Preise der vollständigen Mikroskope können durch Addition der verlangten Objective leicht gefunden werden, z. B.:

Mikroskop ersten Ranges mit Objectiv A. C. und D, welches 4 Objectivvergrösserungen gestattet von 60—2400 linear, zu . . . . 125 Thlr.

Mikroskop mit Drehtisch, kleines Modell, mit Objectiven B. und D., welche drei Objectivvergrösserungen gestatten, und welches für die schwierigsten Beobachtungen ausreicht, da dasselbe 1200—1500 linear. Vergrösserungen gibt, zu . . . . . 75 Thlr.

Dasselbe mit Objectiven C. und D. . . . . 60—65 „

Kleines Stativ ohne Drehtisch mit Objectiv C. und D., welches zu den meisten Beobachtungen völlig ausreicht. Vergrösserung 600—700, zu . . . . 36—50 Thlr.

Das kleine Mikroskopstativ mit zwei Ocularen und einem Objectiv, dessen vordere Linse abschraubt und so ein zweites niederes Objectiv bildet, mit Vergrösserungen bis zu 400, zu. . . . . 25—27 Thlr.

NB. Die besten Objectivsysteme werden ohne Immersion gebraucht, geben nebelfreie klare Bilder, und die stärksten bedürfen keiner Correction für Deckglasdicken.

No. 11.

Franz Schmidt & Haensch in Berlin, *)
Dragonerstrasse No. 19.

(Preise in Thalern.)

1865.

A. Zusammengesetzte Mikroskope.

1. Kleinstes Mikroskop No. 1. Mikrometerbewegung durch Schieflegen des Tisches: mit 1 Ocular und 3 achromatischen Objectiven, 1 Pincette, 2 Präparirnadeln, Objectträger und Deckgläser in einem Mahagonikasten. Linearvergrösserung 40- bis 180mal (siehe Virchow's Schrift »über die Lehre von den Trichinen . . . . . 12 Thlr.

*) Das vollständige Preisverzeichnisse dieser Firma (mit 122 Nummern und 16 Abbildungen) ist durch die Hirschwald'sche Buchhandlung in Berlin zu beziehen.

2. Mikroskop No. 1a. Dasselbe Modell mit Messingfuss. 2 Oculare. Linsensystem 1 und 2, 4, Objectträger und Deckgläser in einem Mahagonikasten. Linearvergrösserung bis 320mal . . . . . 25 Thlr.
3. Mikroskop No. 2. Kleines Modell Schick. Die grobe Einstellung durch Verschieben des Tubus, die feinere durch eine Mikrometerschraube, welche den Objecttisch in eine schiefe Ebene legt; mit 2 Ocularen, System 1 und 2, 4, Objectträger und Deckgläser in einem verschliessbaren Mahagonikasten. Linearvergrösserung 20- bis 350mal . . . . . 35 Thlr.
4. Mikroskop No. 3. Modell wie No. 2, nur grösser, mit vollendeter Spiegelbewegung. 3 Oculare, Systeme 1 und 2, 4, Objectschieber und Deckgläser in einem verschliessbaren Mahagonikasten. Linearvergrösserung 20- bis 500mal (s. Abbild. No. 6) 45 Thlr.
5. Mikroskop No. 4. Complettes Instrument, zum Ueberlegen construirt, der Tisch um seine Axe drehbar, die grobe Einstellung durch Verschieben des Tubus, die feinere mittelst Cylinder und Mikrometerschraube am Tubus. Bei Anwendung schiefer Beleuchtung ist die Cylinderblende durch den unter dem Objecttisch befindlichen Schlitten seitlich zu entfernen. Höhe des Instruments bei ausgezogenem Tubus 11″, Grösse des Tisches: 3″ lang, 3″ breit. Zubehör: 3 Oculare, System 1 und 2, 4, 6. 1 Ocularmikrometer, Objectträger und Deckgläser; in einem verschliessbaren Mahagonikasten. Linearvergrösserung 20- bis 750mal. . . . . . 65 Thlr.
   Dieses Modell, von uns nach den bekanntesten Verbesserungen grösserer Stative zusammengestellt, erlauben wir uns ganz besonders zu empfehlen, da es den Anforderungen theurer Stative entspricht, und mit den Hülfsapparaten wie Polarisation etc. einzurichten ist.
6. Mikroskop No. 5. Modell wie No. 4, grösser auf 2 Säulen construirt, der Tisch um seine Axe vertical und horizontal drehbar, Cylinderblenden, die grobe Einstellung durch Zahn und Trieb, die feinere durch Mikrometerbewegung am Tubus. Der Spiegel zum Hoch- und Niederstellen, so dass das Object genau im Focus stehen kann. Höhe des Instrumentes 12″, Grösse des Tisches 3″ lang, 3″ breit. Mit 4 Ocularen, System 1, 2 und 3, 4, 8, 1 Ocularmikrometer, Objectträger und Deckgläser in einem verschliessbaren Mahagonikasten. Linearvergrösserung 10- bis 1100mal 100 Thlr.
7. Mikroskop No. 6. Ganz grosses Modell, nach Art der grossen Oberhäuser, auf 2 Säulen construirt, mit horizontaler und verticaler Bewegung, Cylinderblenden, die grobe Einstellung durch Zahn und Trieb, die feinere durch Mikrometerbewegung am Tubus. Der Spiegel zum Hoch- und Niederstellen. Höhe des Instrumentes 14″, Grösse des Tisches 3½″ breit, 3½″ lang. Zubehör: 5 Oculare, System 1, 2 und 3, 4, 6, 9. 1 Ocularmikrometer, Objectträger und Deckgläser, in einem verschliessbaren Mahagonikasten. Linearvergrösserung 20- bis 1600mal . . . . . 180 Thlr.
   Bei den Mikroskopen 1a bis 6 sind die Linsensysteme von gleicher Güte.
8. Neues heliographisches Mikroskop, zur photographischen Aufnahme mikroskopischer Objecte. Der Preis richtet sich nach der Anzahl der beizugebenden Objectivsysteme und der gewünschten Construction.

B. Einfache Mikroskope.

9. Simplex nach Zeiss mit 2 Linsensystemen, auf den Mahagonikasten aufzuschrauben à . . . . . 12 Thlr.
10. Simplex nach Zeiss mit 3 Linsensystemen, auf den Mahagonikasten aufzuschrauben à . . . . . 14 Thlr.
   Auf Wunsch wird diesen Mikroskopen ein Präparirklotz beigegeben, der gleichzeitig als Fuss dient, zum Preise von 20 Sgr.

C. Preise der einzelnen Linsensysteme.

11.	System No. 1	4 Thlr.
12.	„ No. 1 und 2	6 „
13.	„ No. 1, 2 und 3	8 „
14.	„ No. 4	10 „
15.	„ No. 6	12 „
16.	„ No. 8 mit Deckglascorrection	25 „
17.	„ No. 9 „ „	30 „

Sämmtliche Linsensysteme haben eine gemeinschaftliche Schraube, so dass bei Nachbestellungen eine Zurücksendung des Mikroskops nicht erforderlich ist.

D. Nebenapparate.

18.	Aplanatische Doppellupe in Elfenbein	1 Thlr.
19.	Brücke'sche Lupe auf Stativ	12 ,,
20.	Zeichnenprisma nach Oberhäuser, im Etuis (s. Abbild. No. 10)	8 ,,
21.	,, ,, Nachet, im Etuis (s. Abbild. No. 11)	6 ,,
22.	,, ,, Nobert, ,, ,, (s. Abbild. No. 12)	5 ,,
23.	Beleuchtungslinse auf Stativ, 3″ Durchmesser	12 ,,
24.	,, ,, ,, 2½″ ,,	10 ,,
25.	Ocularmikrometer, 10 Theile = 1 Mm.	1 ,,
26.	Objectivmikrometer, 100 Theile = ¼ Mm.	5 ,,
27.	Polarisation am Mikroskop	12 ,,
28.	Schraubenmikrometer	25 ,,
29.	Compressorium (s. Abbild. No. 13)	5 ,,
30.	Objectenträger à Dutzend	10 Sgr.
31.	Deckgläser à Dutzend	5 ,,
32.	Gewöhnliche Oculare	3 Thlr.
33.	Orthoskopische Oculare	4 ,,
34.	Gyps- und Glimmerblättchen nach von Mohl für mikroskopische Untersuchungen. p. Collect. von 8 Stück	3 Thlr.
35.	Gypskeile mit breiten Streifen zu demselben Zweck	2½—3 ,,

---

No. 12.

R. Fuess in Berlin, Mauerstrasse No. 84.

(Preise in Thalern.)

1865.

A. Mikroskope.

1. Runder broncirter Fuss, Messingsäule, grobe und feine Einstellung, Blendenscheibe, Hohlspiegel, gerade und schräge Beleuchtung, Ocularmikrometer 5 Mm. in 50 Th., 3 Objectivlinsen und 2 Oculare. Vergrösserung 60-, 100-, 120-, 190-, 250-, 300mal linear; zeigt bei günstiger Beleuchtung die Schrägstreifung der Pl. angulata, sowie die Querlinien auf den Schuppen von Hipparchia janira bereits bei mittlerer Vergrösserung. In Mahagonikasten . . . 17 Thlr.
2. Fuss nebst Säule von Eisen (broncirt), grobe und feine Einstellung, Hohlspiegel, gerade und schräge Beleuchtung: Ocularmikrometer 5 Mm. in 50 Th., 3 Objectivlinsen und 1 Ocular. Vergrösserung 60-, 120-, 250mal linear. Probeobject: Querstreifung der Hipparchia janira oder Pl. attenuata. In Mahagonikasten . . . 12 Thlr.
3. Dasselbe Instrument mit 2 Ocularen . . . 14 ,,
4. Mikroskop nach Schäffer, Vergrösserung 30—50mal linear . . . 8 ,,

B. Mikrometertheilungen auf Glas.

Ocularmikrometer:

1 Centimeter in	100 Theile à Stück	1 Thlr.
5 Millimeter ,,	50 ,, ,,	⅔ ,,
4 ,, ,,	80 ,, ,,	1 ,,
1 ,, ,,	50 ,, ,,	1 ,,
6 ,, ,,	300 ,, ,,	4 ,,

Tischmikrometer (in Etuis):

1 Millimeter in	100 Theile à Stück	2 ,,
½ ,, ,,	50 ,, ,,	1½ ,,

Es werden sämmtliche physikalische und mathematische Instrumente auf Bestellung angefertigt.

No. 13.

Andrew Ross (jetzt Thomas Ross*) in London.
2, Featherstone building, Holborn.

(Preise in Pfd. St.)

No. 1 A. Grosses zusammengesetztes Mikroskop mit rotirendem Objecttisch, welcher auch nach zwei rechtwinkligen Richtungen 1″ weit verschiebbar ist; Bewegung des optischen Theiles durch ein Triebwerk; das ganze Instrument in jeder geneigten Lage stellbar; Hülfsobjecttisch zur Aufnahme der Beleuchtungs- und Polarisationsvorrichtungen, Ocular A und B, mit planem und concavem Spiegel, drehbarem Diaphragma, Objecttischpincette, 2 Glasplatten mit Rändern . . . . . . 30 Pfd.
No. 1 B. Dasselbe Mikroskop mit gewöhnlichem rotirendem Objecttisch; der Apparat von gleicher Vollständigkeit . . . . 24 Pfd.
No. 2. Kleineres Mikroskop, Bewegung des Objecttisches 3/4″, gewöhnliche Rotation, in allen Theilen dem vorigen Instrumente ähnlich . . . . 21 Pfd.
No. 2. Ohne Hülfsobjecttisch . . . . 17 Pfd.
No. 2. Ohne Hülfsobjecttisch, feine Schraubeneinstellung oder beweglicher Tisch, zwei Oculare, ein Linsensystem von 1 Zoll und ein anderes von 1/4″ mit einem Oeffnungswinkel von 95° — Grundlage der vollständigen Mikroskope . . . . 18 Pfd. 11 Sh.
No. 2. Complicirter Objecttisch . . . . 4 „ 10 „
No. 2. Feine Einstellungseinrichtung . . . . 2 „ 14 „
No. 2. Hülfsobjecttisch und senkrechte Schraubenbewegung . . . . . 4 „ 10 „
No. 3. Completes kleineres Stativ, complicirter Objecttisch, Vorrichtung zum feinen Einstellen des optischen Theiles, 2 Oculare . . . . 13 Pfd. 10 Sh.
No. 3. Dasselbe Instrument ohne den beweglichen Objecttisch und die feine Einstellungsvorrichtung, 2 Oculare, ein achromatisches Linsensystem von 1 Zoll, ein zweites von 1/4″, — Grundlage eines vollständigen Mikroskops . . . . . . 14 Pfd. 15 Sh.
No. 3. Complicirter Objecttisch . . . . 4 Pfd.
No. 3. Feine Einstellungsvorrichtung . . . . 2 Pfd.
No. 3. Mikroskopstativ ohne Schiefstellung, ohne beweglichen Objecttisch und Schraubenvorrichtung zum Einstellen; ein Ocular. — Grundlage eines vollständigen Instrumentes . . . . 5 Pfd. 10 Sh.
No. 4. Vollständiges Stativ eines zusammengesetzten und einfachen Mikroskops für Reisen, wie No. 2 . . . . 12 Pfd. 12 Sh.
Mahagoni- und sonstige Kasten von 5 Pfd. 5 Sh. — 1 Pfd. 10 Sh.

Achromatische Linsensysteme.

Oculare:

			A	B	C	D	Pfd.	Sh.
2 Zoll	50°	Oeffnungswinkel	20	30	40	60	3	—
1 1/2 „	20	„	40	55	70	90	3	—
1 „	15	„	60	80	100	120	2	—
1 „	25	„	60	80	100	120	3	10
1/2 „	65	„	100	130	180	220	5	3
1/4 „	95	„	220	350	500	620	5	5
1/6 „	134	„	320	510	700	910	8	8
1/8 „	150	„	400	670	900	1200	10	10
1/12 „	170	„	650	900	1250	2000	18	—

(Sonstige Apparate in grosser Auswahl.)

Neue Systeme von Th. Ross (dem Sohn und Nachfolger):

1/2 Zoll	99°	Oeffnungswinkel	5 Pfd	5 Sh.
1/10 „	110	„	6 „	6 „
1/4 „	140	„	6 „	10 „
1/8 „	140	„	8 „	8 „

Im »Official illustrated Catalogue of international exhibition of 1862« sind ohne Preisangabe folgende Systeme von Th. Ross notirt:

*) Dieses, sowie das folgende Verzeichniss sind zum grössten Theile aus Reinicke's Beiträgen Heft 3, 1862 auszugsweise entnommen.

3	Zoll	12°	Oeffnungswinkel	4/10	Zoll	110°	Oeffnungswinkel
2	,,	15	,,	1/4	,,	100	,,
1 1/2	,,	20	,,	1/4	,,	140	,,
1	,,	15	,,	1/6	,,	140	,,
1	,,	25	,,	1/8	,,	140	,,
2/3	,,	35	,,	1/12	,,	140	,,
1/2	,,	90	,,	1/12	,,	150	,,

Wenham's binoculäre (stereoskopische) Einrichtung, welche, wenn sie anbringbar ist, mit jedem zusammengesetzten achromatischen Mikroskop verbunden werden kann, mit 3 Ocularen, einem analysirenden Prisma, Triebwerk an den beiden Röhren und allen Umänderungen . . . . 8 Pfd. 10 Sh.

No. 14.

Powell & Lealand in London. 4, Seymour Place, Euston Square.

(Preise in Pfd. St.

1865.

1. Grosses zusammengesetztes Mikroskop von verbesserter Construction, mit einem 3/4″ durch Schraube und Trieb rechtwinklig verschiebbaren und zugleich um die Axe rotirenden Objecttisch (nebst Präparatenhalter und Federklemme), welcher sehr dünn ist, um die schärfste Beleuchtung zu gestatten, sei es durch den Spiegel oder ein achromatisches Prisma, und einen graduirten Kreis besitzt, um als Goniometer benutzt zu werden. Grobe und feine Bewegung des Rohrs; letzteres mit einer graduirten ausziehbaren Röhre. Secundärer Objecttisch mit rotirender, horizontaler und verticaler Bewegung für den Gebrauch des achromatischen Condensor, Paraboloid etc.: getheilte Platte mit einer Linse, um als Objectfinder zu dienen, einem ansehnlichen planen und concaven Spiegel mit doppeltem Arme; zwei Oculare . . . . 32 Pfd. 10 Sh.
2. Grosses zusammengesetztes verbessertes Mikroskop mit einem um 3/4″ durch Schraube und Trieb rechtwinkelia verschiebbaren Objecttisch, nebst verstellbarem und rotirendem Objecthalter mit Federklemme; grobe und feine Einstellung des graduirten und ausziehbaren Rohres; Accessorischer Objecttisch mit rotirender rechtwinkliger und senkrechter Bewegung für Condensor, Paraboloid etc.; ebener und concaver Spiegel mit doppeltem Arme, wodurch sehr schiefes Licht auf das Object geleitet werden kann; 2 Oculare . . . . 22 Pfd.
3. Kleineres Mikroskop in der Einrichtung dem vorigen ähnlich, mit einem um 3/4″ verschiebbaren Tisch, 2 Ocularen, Drehscheibe und Lister's Lichtstopfer, aber ohne den secundären Objecttisch und den doppelten Arm des Spiegels . . . . . . 16 Pfd.
4. Tragbares zusammengesetztes Mikroskop mit 3/4″ Verschiebung des Tisches, einem verstellbaren und rotirenden Objecthalter nebst Federklemme; grobe und feine Bewegung, accessorischer Tisch, ebener und concaver Spiegel an doppeltem Arme, um sehr schiefe Beleuchtung zu erhalten; in Mahagonikasten. . . . . 16 Pfd. 16 Sh.
5. Zusammengesetztes Mikroskop mit einem um 3/4″ durch einen Hebel verstellbaren Objecttisch, grober und feiner Bewegung, planem und concavem Spiegel, Drehscheibe, Lister's Lichtstopfer und 2 Ocularen . . . . 10 Pfd. 10 Sh.
   Das Gestell von Eisenguss . . . . 8 ,, — ,,
6. Zusammengesetztes Mikroskop mii 2 achromatischen Linsensystemen von 1 und 1/4″ und Oeffnungswinkeln von 28 und 95°, 2 Ocularen, doppeltem Spiegel, drehbarem Diaphragma und Lister's Lichtstopfer . . . . 12 Pfd. 10 Sh.
7. Zusammengesetztes Mikroskop für Studirende, mit den gleichen Linsensystemen, wie No. 6, einem Ocular und doppeltem Spiegel . . . . 10 Pfd. 10 Sh.

Dissectionsstative . . . . 3 ,, 3 ,,
Mahagonikasten für das Mikroskop No. 1 . . . . 4 ,, 4 ,,
Kasten für die Instrumente No. 2 und 3 mit Laden für Objecte. . . . . 4 ,, 10 ,,
etc. etc.

Achromatische Linsensysteme für Mikroskope.

Linsensysteme	Oeffnungswinkel	Vergrösserung mit den Ocularen 1.	2.	3.	4.	5.	Preise Pf.	Sh.	Lieberkühn'sche Beleuchtungs-Apparate Sh.
2"	14° . . .	25	37	50	100	150	2	15	10
1½" . . .	20° . . .	37	56	74	150	220	3	0	10
1"	30° . . .	50	74	100	200	300	3	3	8
⅔" . . .	32° . . .	75	111	150	300	450	3	10	8
½" . . .	70° . . .	100	148	200	400	600	5	0	5
10 (? ⅓) .	80° . . .	125	187	250	500	750	5	5	6
¼" . . .	95° . . .	200	296	400	800	1200	5	5	
¼" . . .	130° . . .	,,	,,	,,	,,	,,	7	7	
¼" . . .	145° . . .	,,	,,	,,	,,	,,	8	8	
⅕" . . .	100° . . .	250	370	500	1000	1500	6	6	
⅛" . . .	130° . . .	400	592	800	1600	2400	8	8	
1/12" . . .	145° . . .	600	888	1200	2400	3600	10	10	
1/16" . . .	175° . . .	800	1184	1600	3200	4800	16	16	
1/25" . . .	160° . . .	1250	1850	2500	5000	7500	21	0	
1/50" . . .	150° . . .	2500	3700	5000	10,000	15,000	31	10	

Hierzu noch eine Menge einzelner Apparate, darunter:

Wenham's stereoskopische Vorrichtung . . . . 8 Pfd. 10 Sh.
Verbesserter Condensor mit 170° Oeffnungswinkel . . . . 8 ,, 8 ,,
,, ,, ,, 100° ,, ... 7 ,, 7 ,,
Beleuchtungslinsen à . . . . von 1 Pfd. 4 Sh. bis 18 ,, 5 ,,
Polarisationsapparat. . . . . 2 ,, 10 ,,
Goniometer . . . . 3 ,, 3 ,,
Mikrometerocular . . . . 1 ,, 5 ,,
Schraubenmikrometer . . . . 4 ,, 4 ,,
Oculare . . . . von 15 Sh. an

No. 15.

Smith, Beck & Beck in London. 6, Coleman Street.

(Preise in Pfd. St.)

1859 u. 1863.

Die Instrumente sind in 3 Klassen getheilt und No. 1 (auf welche wir uns hier beschränken) die beste Qualität darstellend.

1. Verbessertes kleines Mikroskop; 3 Oculare, Systeme ⅔" (30°) und ⅕" (85°), Vergrösserungen 60, 105, 180, 240, 430 und 720. Bildumdrehendes Glas.
   Die Leiste, welche den Körper trägt, ist am Gestell fortgesetzt bis unter den Tisch. Dieser hat einen beweglichen Cylindereinsatz, um alle Beleuchtungsapparate leicht und sicher einstellen zu können. Die Säule, welche den Körper trägt, hat ein Gelenk für schiefe Stellung und ist auf ihrem Fusse drehbar. Der Körper hat grobe und feine Bewegung und eine graduirte Röhre. Der Tisch ist ½ Zoll dick und besitzt verticale, sowie horizontale Bewegung, Drehscheibe und Klammern. Diaphragma mit drehbaren und zurückziehbaren Einsätzen. Planer und concaver Spiegel auf beweglichem Arme. Seitliche Beleuchtungslinse, Lieberkühn'scher Apparat etc.; mit Kasten. . . . . 30 Pfd.
2. Ein ähnliches Instrument, aber mit dem Gestell des verbesserten grossen Mikroskops, mit 2 Säulen etc. . . . . 35 Pfd.
3. Verbessertes kleines Mikroskop mit 3 Ocularen, 3 Objectivsystemen ⅔ Zoll (30°), 1/10" (55°) und ⅕" (100°) und zahlreichen Beigaben . . . . 50 Pfd.

4. Derselbe optische Theil mit dem Stativ des grossen Mikroskops . . . . . 55 Pfd.
5. Vollständig verbessertes grosses Mikroskop mit 5 Linsensystemen, 1½ Zoll (20°), ⅔″ (30°), 4/10″ (75°), ⅕″ (100°) und ⅛″ (120°), 3 Ocularen, Vergrösserungen von 20—1300. Beleuchtungsvorrichtungen, verbessertem Condensor, Polarisationseinrichtungen und zahlreichem Nebenapparat . . . . 84 Pfd.
6. Neues Universalmikroskop (1863) mit 2 Objectivsystemen (1″ und ¼″) und zwei Ocularen . . . . 5 Pfd.

Einzelpreise von Linsensystemen (alle Systeme, welche stärker als ⅔ Zoll sind, ausgenommen nur ¼″, mit Correctionsapparat):

2 Zoll	10°	1 Pfd.	10 Sh.	6 d.		
1½ ,,	20°	3 ,,	10 ,,	— ,,		
1 ,,	22°	2 ,,	10 ,,	— ,,		
⅔ ,,	30°	3 ,,	3 ,,	— ,,		
4/10 ,,	55—75°	5 ,,	4 ,,	— ,,	(7 Pfd. 7 Sh.)	
¼ ,,	75° .	2 ,,	10 ,,	— ,,		
⅕ ,,	85—100°	5 ,,	5 ,,	— ,,	(6 Pfd. 6 Sh.)	
⅛ ,,	120°	8 ,,	8 ,,	— ,,		

Zahlreiche Stative und Nebenapparate.

No. 16.

Preiscourant über die zur Fertigung mikroskopischer Präparate nöthigen Glasgegenstände. Von **Heinrich Vogel**, Glasermeister in Giessen.

1866.

1. Objectträger, Vereinsformat (48 Mm. lang, 28 breit) . . . . . . 50 Stück à 18 kr.
2. Dieselben mit abgestumpften Ecken . . . . 50 ,, 24 ,,
3. Schmale Schutzleisten . . . . 100 ,, 5 ,,
4. Breite Schutzleisten . . . . 100 ,, 9 ,,
5. Deckgläschen von c. 1/10 bis 1/15 Linie Dicke unter folgenden Nummern:

No. I. Quadratische Plättchen von 18 Mm. Seite	50 Stück à		36 ,,
No. II. ,, ,, ,, 15 ,, ,, ...	50 ,,		27 ,,
No. III. ,, ,, ,, 12 ,, ,, ...	50 ,,		16 ,,
No. IV. ,, ,, ,, 10 ,, ,, ...	50 ,,		10 ,,
No. V. Plättchen von 26 Mm. Länge und 21 Breite	50 ,,	1 fl.	24 ,,
No. VI. ,, ,, 22 ,, ,, ,, 16 ,, ...	50 ,,		54 ,,
No. VII. ,, ,, 18 ,, ,, ,, 12 ,, ...	50 ,,		20 ,,
No. VIII. ,, ,, 14 ,, ,, ,, 9 ,, ...	50 ,,		12 ,,

6. Pappkästchen zum Aufbewahren mikroskopischer Präparate. Jedes Kästchen fasst 40—50 Stück. Preis eines Kästchens . . . . 36 kr.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

